بداية بلا نهاية

تأليف

چورچ جاموف

ترجمة

محمد زاهر المنشاوى



الهيئة المصرية العامة للكتاب

١٩٩٠

الاخراج الفنى : عمر حماد على

مقدمة الطبعة العربية

ان أعظم مغامرة قام بها الانسان هي محاولة ارتياد الكون وسبر أغواره ، فمنذ أقدم العصور أخذ يتطلع الى صفحة السماء ويراقب حركات النجوم والكواكب فى أفلاكها ، فأذهله الاحكام الذى تتسم به حركاتها ودوراتها ورأى فيها تجسيدا لقوى خفية تتحكم فى مصائره وحظوظه ، ووضع نظريات تمتزج فيها المشاهدة بالخرافة أو بالأسطورة ليفسر نشأة الكون وآليات عمله ، ومع اتساع آفاق العلم فى عصرنا الحديث تطلع الانسان الى التعرف على القوانين العلمية التى تحكم حركة الكون ، فتكشف له كون آخر لا يقل روعة واحكاما عن ذلك الكون العظيم الذى نعيش فيه ونعنى بذلك الكون الآخر أو الكون الصغير عالم الذرة ٠

وعلى صفحات هذا الكتاب نقرأ قصة بحث الانسان عن القوانين التى تحكم هذين العالمين ٠ وأهمية هذا الكتاب لا تنبع من عرضه للحقائق العلمية بل هى ترجع الى قدرته على تبسيطها للقارىء العادى الذى قد يعجز أحيانا عن فهم تلك الرؤية الجديدة للكون التى بشر بها علم الفيزياء الحديث فى مطلع القرن العشرين مع ظهور النسبية وميكانيكا الكم ٠ وقد تبدت للانسان قوى أربع تتحكم فى آليات هذين الكونين وهى قوة الجاذبية التى تسيطر على حركات الأجرام السماوية بل وحركاتنا نحن أنفسنا وهى القوة الأساسية فى الكون الأكبر ، ثم ما يعرف بالقوة الذرية الكبرى التى تمسك بعناصر نواة الذرة والقوة الكهربائية المغناطيسية التى تجعل الألكترون يسير حول النواة والقوة النووية الضعيفة أو الصغرى التى تؤدى الى الانحلال الاشعاعى فى بعض الذرات مثل اليورانيوم وهذه القوى الثلاث الأخيرة هى التى تحكم الكون الأصغر أو عالم الذرة وهى القوة التى سعت الى توحيدها نظريات التوحيد الكبرى الحديثة فى اطار المحاولة التى يسعى العلماء بها الى التوصل الى قانون عام واحد يمكن على أساسه تفسير حركات أو ظواهر هذين الكونين العظيمين ٠

وهذا الكتاب من أشهر الكلاسيكيات العلمية التى تؤرخ لتطور الفيزياء الحديثة حتى منتصف القرن العشرين وهى الفترة التى ظهرت فيها أروع نظريتين علميتين وهى النسبية وميكانيكا الكم اللتين تشكلان

أساس المحاولات الحديثة للوصول الى النظرية التوحيدية العامة · ويعتبر كتاب بداية بلا نهاية (واسمه فى الأصل ١ ـ ٢ ـ ٣ ···· مالا نهاية) من أهم الكتب التى استطاعت أن توضح للقارىء صورة الكون الرباعى الأبعاد الذى يدخل فيه الزمن كبعد رابع وعلى الرغم من ألفة القارىء الحديث لاسم هذه النظرية (النسبية) واسم واضعها (أينشتين) وكلمة البعد الرابع الا أننا قد نجد صعوبة فى فهم هذا التداخل الغريب لعنصر الزمن فى تشكيل رؤيتنا للأشياء وهذا هو الانجاز الحقيقى لكتاب بداية بلا نهاية الذى جعله من أهم كلاسيكيات تبسيط العلوم والذى نال مؤلفه جائزة من اليونسكو فى هذا المجال ، فالقارىء يخرج منه بفهم لحقيقة هذا البعد الذى قد لا يكون مؤلوفا فى عالمنا ·

واسم الكتاب مأخوذ من المتوالية الرياضية اللانهائية والتى استبدلناها فى العربية بمعناها المجازى بداية بلا نهاية الذى قد يكون أقرب الى الفهم · فالمؤلف هنا يرمى الى توضيح فكرة اللانهائية التى قد نعجز عن تصورها فى مشاهداتنا اليومية فلكل شىء بداية ونهاية ولكل شىء حد فوقى أو جانبى أو علوى ولكن فكرة اللانهائية مغايرة لعالمنا المحدود نسبيا فمع اتساع الأبعاد الفلكية والسرعة الضوئية يتلاشى مفهوم الزمان والمكان ، ولقد كان جورج جاموف مؤلف هذا الكتاب من أنصار نظرية الانفجار الكبير الذى نشأ منه الكون ومن مؤيدى نظرية التمدد الكونى التى نادى بها فريدمان والتى ترى أن الأجرام السماوية والمجرات آخذة فى التباعد الى ما لا نهاية ، وهذا التمدد قد يكون رد فعل لحالة اختزال أولية انكمشت فيه المادة اللانهائية قبل الخليقة الى كتلة عالية الكثافة شديدة الانضغاط ثم ارتدت من جديد كما لو كانت مدفوعة بقوى المرونة الداخلية ، وهكذا قد تتوالى عمليات الانضغاط والانبساط فى لا نهائية المكان والزمان ·

وجاموف أو جريجورى (جورج) جاموف هو أحد أشهر علماء الفيزياء فى القرن العشرين ولد فى ٤ مارس عام ١٩٠٤ بأوديسا بالاتحاد السوفيتى وتخرج من جامعة لننجراد عام ١٩٢٨ · وفى تلك الجامعة التقى بالفيزيائى الشهير فريدمان صاحب نظرية التمدد الكونى الذى بات جاموف أحد أشد أنصارها والمدافعين عنها حتى وفاته عام ١٩٦٨ ·

وقد انتقل الى مدينة جوتنجن فى ألمانيا بعد تخرجه ووضع هناك نظريته الكمية عن النشاط الاشعاعى ثم انتقل الى كوبنهاجن حيث استمر فى دراسته للفيزياء النظرية ووضع هناك ما يعرف باسم أنموذج النقطة

السائلة liquid drop التى باتت فيما بعد أساسا لنظريات الانشطار والاندماج النووى . ثم اتجه بعد ذلك الى دراسة التفاعلات الحرارية النووية داخل النجوم ، وفى عام ١٩٣٤ هاجر الى الولايات المتحدة ليعمل أستاذا للفيزياء فى جامعة واشنطن ، وهناك وضع نظرية البنيات الداخلية للنجوم الحمراء فى عام ١٩٤٢ .

ثم طور نظرية فريدمان التى ترى أن الكون قد نشأ عن انفجار هائل حدث منذ بلايين السنين ونشر نظريته فى كتاب يسمى أصل العناصر الكيميائية .

وفى عام ١٩٤٢ اتجه الى دراسة الكيمياء الحيوية فوضع نظرية عن الشفرة الجينية Genetic code وقد ثبتت صحة هذه النظرية فيما بعد ، وكان جاموف يتمتع ببصيرة علمية صائبة فرأى بحدسه أن الاشعاع الكونى الخلفى "background radiation" هو من بقايا الانفجار الكونى الكبير وقد ثبتت صحة هذا الرأى سنة ١٩٦٤ على يد العالمين أرنولد بنسياس وروبرت ولسون وكذلك ثبتت صحة نظريته عن تكوين العناصر الكيميائية ولكن شهرته الحقة جاءت فى مجال تبسيط العلوم . وقد انتخب عضوا فى الأكاديمية العلمية الدنماركية وأكاديمية العلوم الأمريكية تقديرا لجهوده العلمية واكتشافاته ثم اختير ليشغل كرسى الفيزياء بجامعة كولورادو حيث ظل يعمل حتى وفاته فى ٢٩ أغسطس عام ١٩٦٨ .

مقدمة

الذرات ، والنجوم ، والغيوم السديمية ، و « الانتروبيا » (*) ، والجينات هل يستطيع الانسان أن يطوى السماء ؟ ولماذا ينكمش الصاروخ ؟ على صفحات هذا الكتاب نتناول كل هذه الموضوعات ، وغيرها من الموضوعات التى لا تقل عنها أهمية ٠

والهدف الأساسى هنا هو الجمع بين أكثر الحقائق والنظريات العلمية اثارة حتى نعطى القارىء صورة عامة عن الكون فى شتى صوره ، المجهرية ، والمرئية وفقا لرؤية علمائنا فى العصر الحديث وعملا على ذلك لم أحاول ــ ولو محاولة ــ أن أغطى موضوعا ما من كافة جوانبه واضعا فى اعتبارى أن مثل هذه المحاولة سوف تؤدى الى تأليف « موسوعة » من عدة مجلدات ٠ وقد راعيت ، فى الوقت ذاته ، عند اختيارى للموضوعات أن أتعرض لكل أوجه المعرفة بايجاز دون اهمال شىء منها ٠

ثم رتبت الموضوعات وفقا للأهمية ومدى الاثارة ، لا وفقا لبساطتها ، مما أدى الى شىء من التفاوت فى العرض ، فبعض الفصول سهلة لدرجة أن يستوعبها الأطفال ، والبعض الآخر يتطلب استيعابه قدرا من التركيز والتأمل لفهمها تماما ٠ ومع ذلك آمل ألا يجد القارىء العادى صعوبة شديدة فى قراءة هذا الكتاب ٠

وأود أن أعرب عن شكرى لهذا العدد الكبير من الفنانين والرسامين الذين جاءت أعمالهم موضحة للتركيب البنائى للأشياء ، وأساسا لكثير من الرسوم التوضيحية التى زينت هذا الكتاب (انظر الفصل الثالث

(*) مقياس للطاقة (المترجم) ٠

من الكتاب) · كما أدين بشكر خاص لصديقتى الصغيرة « مارينا فون نيومان » ، وهى تزعم أن معرفتها بكل شيء أكثر من معرفة والدها عالم الرياضيات الشهير ، الا فى الرياضيات طبعا فقد أقرت بأنها لا تقل فيها عنه · وبعد أن قرأت هذا الكتاب قبل طباعته ، أخبرتنى بأن هناك أشياء كثيرة لم تفهمها فأدركت أخيرا أنه ليس موجها للأطفال كما كنت أظن ·



الجزء الأول

اللعب بالاعداد

الفصل الأول

الأعداد الكبيرة

ما مدى قدرتك على العد ؟

هناك قصة عن اثنين من الأرستقراطيين المجريين اللذين قررا أن يلعبا لعبة يكون فيها الفوز لمن يستطيع منهما أن يذكر للآخر أكبر الأرقام ... وتحكى هذه القصة أن أحدهما قال « حسنا فلتبدأ أنت بذكر رقمك » . وبعد دقائق قليلة من التفكير الشديد ، ذكر الثانى أخيرا أكبر ما يعرفه من أرقام ، فقال « ثلاثة » .

والآن جاء دور الأول منهما ليعمل فكره ، بيد أن الأمر انتهى به الى الاستسلام بعد مرور ربع ساعة قائلا « أنت الفائز » .

وهذان المجريان الارستقراطيان ليسا ، بالطبع على درجة عالية جدا من الذكاء (١) ، وربما كانت هذه القصة محض افتراء خبيث قصد به الاساءة الى شعب المجر ، على أن حوارا كهذا يحتمل وقوعه بين اثنين من « الهوتنتوت » (*) وليس من المجريين . والواقع أننا نجد ـ والعهدة على

(١) ثمة قصة أخرى تؤيد هذه الحكاية فى نفس المجال وتحكى أن جماعة من المجريين الأرستقراطيين ضلوا طريقهم فى « الألب » . ويقال أن أحدهم أبرز خريطة ، وبعد وقت طويل من دراستها صاح مندهشا : « الآن عرفت أين مكاننا ! » فسأل الآخرون « أين ؟ » ، قال : « هل ترون ذلك الجبل الضخم ؟ اننا فوق قمته تماما » .

(★) شعب جنوب افريقى (المترجم) .

مستكشفى افريقيا ـ أن بعض قبائل الهوتنتوت لا تحتوى مفردات لغتها على أعداد أكبر من ثلاثة ۰ واسأل أحد السكان الأصليين هناك عن عدد أولاده ، أو عدد الأعداء الذين قتلهم فاذا كان العــدد أكبر من ثلاثة ، سيرد قائلا « كثير » ۰ ولذا فان طفلا أمريكيا فى سن الحضــانة يزهو بقدرته على العد حتى عشرة يستطيع أن يتفوق فى العد على الهوتنتوت اذا تعلق الأمر بحصر عدد المحاربين الأشداء فى بلادهم ۰

وفى هذا العصر أصبحت فكرة كتابة أكبر عدد نريده أمرا مألوفا لدينــا ، سواء كان هذا الرقم يعبر عن نفقــات الحرب بالســنت (*) أو المسافات بين النجوم بالبوصة ، وذلك ببساطة عن طريق كتابة عدد كاف من الأصفار على يمين رقم معين ۰ وبمقدورك اضافة ما تشــاء من الأصفار حتى تكل يدك ، وسوف تحصل حتى قبل أن تدرك ذلك على عدد أكبر من اجمالى عدد ذرات الكون (٢) ۰ وهو بالمناسبة :

٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬
٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠٬٠٠٠ ٬٣٠٠

وتستطيع كتابة نفس العدد فى صيغة مختصرة كالتالى : ٣×١٠^{٧٤}
والعدد الصغير المكتوب هنا أعلى العشرة لليسار يشير الى عدد الأصفار التى ينبغى كتابتها ، أو بمعنى آخر فان العــدد (٣) يجب أن يضرب فى (١٠) أربع وسبعين مرة ۰

ولكن هذه الطريقة فى « التبسيط الحسابى » لم تكن معروفة فى العصور القديمة ۰ والحقيقة أنها لم تبتكر الا منذ أقل من ألفى عام فى الماضى على يدى رياضى هندى غير معروف ۰ وقبل هذا الاكتشاف العظيم ـ نعم لقد كان اكتشافا عظيما وان كنا لا ندرك ذلك عادة ـ كانت كتابة الأعداد تعتمد على استخدام رمز خاص لكل خانة من الخانات التى نطلق عليها الآن الوحدات العشرية ۰ ثم تكرار هذا الرمز بما يساوى قيمة هذه الخانة ، فقد كان قدماء المصريين مثلا يكتبون العدد ٨٧٣٢ كالتالى :

(**)

(★) السنت عملة أمريكية تمثل $\frac{١}{١٠٠}$ من الدولار ۰

(٢) القياس وفقا لأبعد مسافة يمكن النفاذ اليها بواسطة أقوى تلسكوب ۰

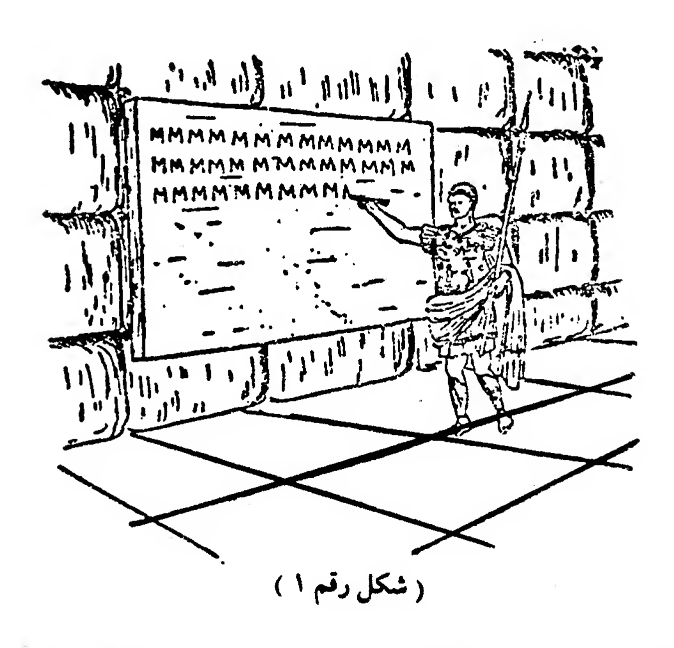
(★★) لاحظ تكرار الرمز الأول ٨ مرات والرمز الثانى ٧ مرات والرمز الثــالث ٣ مرات والرابع مرتين للتعبير عن عدد ٨٧٣٢ (المترجم) ۰

في حين كان الكاتب في ديوان قيصر يدون هذا الرقم هكذا :

MLMMMMMMDCCXXXII

ولابد أن الرقم الثاني مألوف لديك ، حيث أن الأعـــداد الرومانية لا تزال تستخدم أحيانا للاشارة الى تسلسل المجلدات أو الفصول في كتاب ما ، أو عند التأريخ لحدث هام على لوحة تذكارية فخمة . ومع ذلك فان حاجة القدماء الى الأعداد لم تكن تتجاوز بضعة آلاف ، ولذا فان الرموز الدالة على وحدات عشرية أكبر لم تكن موجودة ولو طلب من أحد الرومان أن يكتب رقم « مليون » لوقع في حرج شـــديد مهما كانت كفاءته . ولما استطاع أن يفعل شـــيئا أكثر من كتـــابة ألف من الرمز M على التوالي ، الأمر الذى يتطلب عدة ساعات من العمل الشاق (شكل ١) .

وبالنسبة للقدماء كانت الأعداد الهائلة مثل ، عدد نجوم السماء ، أو عدد أسماك البحار ، أو ذرات الرمل على الشاطىء أعدادا « لا تحصى » تماما كما ينظر الهوتنتوت الى رقم « خمسة » ، الذى يصبح عنده ببساطة « كثير » ! .



(شكل رقم ١)

شكل (١) : روماني قديم من عصر أغسطس قيصر يحاول كتابة « مليـــون بالأعداد الرومانية . والمساحة المتاحة له على الحائط السبورى لا تكاد تكفى لكتابة « مائة ألف » .

ولقد احتاج الأمر الى عقل جبار مثل « أرشميدس » أحد علماء القرن الثالث المجيدين ، لكى يوضح لنا امكانية كتابة أعداد كبيرة فعلا . وفى هذا قال أرشميدس فى رسالته المسماة Psammites أو « حاسب الرمال » :

« هناك البعض ممن يعتقدون أن عدد ذرات الرمال لا نهائى فى كثرته ولا أعنى بذلك مجرد الرمال الموجودة فى سيراقوسة (*) وصقلية فحسب ، بل عدد ذرات الرمال فى أى بقعة كانت من بقاع الأرض مجتمعة ، معمورة كانت أو غير معمورة . كما أن هناك البعض ممن لا ينظرون الى هذا العدد باعتباره لا نهائيا ولكنهم مع ذلك يظنون أنه ليس فى الامكان أن نحدد عددا يفوق فى ضخامته عدد الرمال على الأرض . ويتضح لنا أن الذين يؤمنون بهذا الرأى لو تخيلوا كتلة من الرمال ـ فى صورة أخرى ـ تبلغ فى ضخامتها ضخامة الأرض بما فيها من بحار وفجوات مملوءة بالرمال حتى ارتفاع أعلى الجبال لظلوا على يقينهم بأن رقما ما لا يمكن أن يزيد عن ذلك الرقم المعبر عن ذرات الرمال فى هذه الكتلة المتراكمة . ولكننى سأحاول أن أوضح أنه من بين الأرقام التى سأذكرها ، هناك أرقام تزيد عن عدد ذرات الرمال التى يمكن أن تملأ كتلة الأرض بالشكل الذى وصفته بل هناك أيضا أرقام تساوى عدد الرمال التى يمكن بها حشو الكون بأكمله » .

وتماثل الطريقة التى اتبعها « أرشميدس » فى كتابة الأرقام فى هذا البحث الشهير الطريقة التى نتبعها فى كتابة أكبر الأعداد فى العلوم الحديثة . وقد بدأ بأكبر رقم عرفه علم الحساب الاغريقى آنذاك وهو « ميرياد » أو ١٠،٠٠٠ ، ثم استحدث رقما جديدا وهو « ميرياد ميرياد » (١٠٠ مليون) وسماه « أوكتاد » أو وحدة من الرتبة الثانية . أما « الاوكتاد أوكتاد » أو (١٠ ١٦) فيطلق عليه وحدة من الرتبة الثالثة ، أو « الاوكتاد أوكتاد أوكتاد » فوحدة من الرتبة الرابعة ... الخ .

وربما كان موضوع كتابة الأعداد الكبيرة أهون بكثير من أن نفرد له عدة صفحات من كتاب ، ولكن التوصل الى طريقة لكتابة هذه الأرقام على عهد أرشميدس كان اكتشافا عظيما وخطوة هامة نحو التقدم فى علم الرياضيات .

(*) مدينة تقع فى صقلية (المترجم) .

وحتى يمكن حساب **العدد المعبر عن عدد حبات الرمال اللازمة لملء الكون بأكمله** ، كان على أرشميدس أن يعرف حجم هذا الكون ٠

وقد ساد الاعتقاد فى ذلك العصر أن الكون مغلف بمجال بللورى تتدلى منه النجوم ٠ وقدر عالم الفلك الشهير المعاصر لذلك الوقت (ارسطرخس الساموسى (*) المسافة من الأرض الى الخط المحيط بالمجال الكونى ب $١٠^{١٠}$ ستاديوم (٣) أو حوالى $١٠^{٩}$ أميال وبمقارنة حجم هذا المجال بحجم ذرة الرمل أجرى أرشميدس سلسلة من العمليات الحسابية تكفى لاصابة طالب فى المرحلة الثانوية بالكوابيس الليلية ، وأخيرا وصل الى هذه النتيجة :

« لقد ثبت بالدليل أن عدد ذرات الرمل التى يمكن استيعابها **فى** فضاء **مساو حجما** للكون المنظور وفق **تقدير أرسطرخس** ، لا يزيد على ألف ميرياد من **وحدات الرتبة الثامنة** » (٤) ٠

وربما لاحظنا هنا أن تقدير أرشميدس لنصف قطر الكون كان أقل من تقدير علمائنا المحدثين ٠ فان مسافة $١٠^{٩}$ أميال لا تتعدى المسافة بين الأرض وكوكب زحل فى مجموعتنا الشمسية الا بقليل ٠ وكما سوف نرى فيما بعد ، فقد وصلت استكشافات الكون بالاستعانة بالتلسكوب الى مسافة ٥ × $١٠^{٢١}$ ٠ وبذا فان عدد حبات **الرمال اللازمة** لملء الكون المنظور سوف تزيد عن : $١٠^{١٠٠}$ (أى «١» وعلى يمينه ١٠٠ صفر) وهذا الرقم يزيد بالطبع عن العدد الكلى للذرات فى الكون ، وهو ٣ × $١٠^{٧٤}$ كما ذكرنا فى مستهل هذا الفصل ، **ولكن ينبغى ألا يغيب عنا أن الكون ليس مشحونا بالذرات** ، فالحقيقة أن كل متر مكعب من الفضاء يحتوى فى المتوسط على ذرة واحدة فقط تقريبا ٠

(*) من مواطنى جزيرة « ساموس » الواقعة فى بحر ايجة (المترجم) ٠

(٣) يساوى ال « ستاديوم » الاعريقى ٦٠٦ من الأقدام أو ١٨٨ مترا

(٤) أى وفقا لمفهومنا : ألف ميرياد (١٠ مليون) × الدرجة الثانية (١٠٠ مليون) × الدرجة الثالثة (١٠٠ مليون) × الدرجة الرابعة (١٠٠ مليون) × الدرجة الخامسة (١٠٠ مليون) × الدرجة السادسة (١٠٠ مليون) × الدرجة السابعة (١٠٠ مليون) × الدرجة الثامنة (١٠٠ مليون)

أو ببساطة $١٠^{٦٣}$ ٠ (أى «١» و ٦٣ صفرا على يمينها)

على أننا فى غنى تماما عن هذه المبالغة ، وحشـــو الكون بالرمال للحصول على أعداد كبيرة جدا . والواقع أن هذه الأعداد قد تطفـــو على السطح عند معالجة أمور تبدو لأول وهلة وكأنها مسائل غاية فى البساطة ، **لا نتوقع منها مطلقا نانجا يزيد عن عشرة آلاف .**

وقد كان « **شيرهام** » **أحد** ملوك الهند من بين ضحايا الأرقام الخادعة اذ تقول احدى الأساطير القديمة ، انه أراد أن يكافىء « **سيسا بن ظاهر** » وزيره الأكبر على ابتكاره للعبة الشطرنج وتقديمها اليه فبدا وزيره الأكبر غاية فى القناعة ! اذ قال له وهو راكع بين يديه « مولاى ! مر لى بحبة قمح فى المربع الأول من رقعة الشطرنج **وحبتين** فى المربع الثانى ، ثم أربع حبات فى الثالث ، ثم ثمان فى الرابع . **وضاعف الرقم يا مولاى فى كل مربع تال** واعطنى ما يكفى أربعة وستين مربع .

قال الملك ، وقد سره هذا الاقتراح ظنا منه أنه لن يكلفه الا قليلا « لقد سألت أمرا يسيرا يا خادمى المخلص وما كنت لأخيب رجاءك » . ثم أمر بجوال من القمح ، الا أنه عندما بدأ بحبة فى المربع الأول فاثنتين فى الثانى ، ثم أربع فى الثالث وهلم جره ... فرغ الجوال قبل المربع العشرين فأحضر الخدم مزيدا من الأجولة ، لكن الرقم المطلوب فى كل مربع لاحق أخذ فى التزايد بسرعة رهيبة حتى بدا واضحا بعد قليل أن محصول القمح الهندى بأكمله لن يسعف الملك فى تنفيذ وعده للـوزير .



(شكل رقم ٢)

شكل (٢) : سيسا بن ظاهر الوزير الأكبر والرياضى الماهر يطلب المكافأة من « شيرهام » ملك الهند .

وأنه يلزم لذلك عدد ١٨٫٤٤٦٫٧٤٤٫٠٧٣٫٧٠٩٫٥٥١٫٦١٥ (٥) حبة قمح

وهذا الرقم ، على ضخامته أقل من عدد ذرات الكون ولكنه رقم كبير على أية حال • وبفرض أن البوشل (*) يحتوى على حوالى ٥ ملايين قمحة نجد أن المرء بحاجة الى حوالى ٤ × ١٠١٢ بوشل ليلبى مطلب سيسا • ولما كان متوسط انتاج القمح فى العالم ٢ × ١٠٩ بوشل سنويا فان الكمية التى طلبها الوزير الأكبر تعادل **الانتاج العالمى من القمح لفترة ألفى عام تقريبا •**

وهكذا وجد الملك شيرهام نفسه غارقا فى دينه للوزير ، ولم يكن بمقدوره الا أن يواجه طلباته الملحة باستمرار أو يضرب عنقه • وأغلب الظن عندى أنه اختار الحل الثانى •

وهناك قصة أخرى الدور الرئيسى فيها لعدد كبير ، وهى من الهند أيضا ، وتتعلق بمشكلة « نهاية العالم » ، اذ يروى (بول Ball (٦) مؤرخ « عجائب الأرقام » ، ما يلى :

فى معبد « بنارس » العظيم ، يوجد أسفل القبة التى تحدد مركز العالم صحن نحاسى به ثلاث ابر من الماس ، ارتفاع كل منها ذراع (الذراع الواحد حوالى ٢٠ بوصة) ، وسمكها سمك جسد النحلة تقريبا . وفى بدء الخليقة وضع الاله على احدى هذه الابر أربعة وستين قرصا من الذهب الخالص ، استقر أكبرها على الصحن النحاسى ، بحيث تعلوه بقية الأقراص الأصغر فالأصغر وهكذا حتى نهاية الابرة ، فكان ما يعرف « ببرج براهما » • ويقوم الكاهن المكلف بالخدمة بنقل هذه الأقراص من ابرة لأخرى ليلا نهارا نزولا على تعاليم براهما الخالدة الراسخة ، والتى

---

(٥) عدد حبات القمح التى طلبها هذا الوزير الذكى يمكن وضعه على الصورة الآتية : ١ + ٢ + ٢٢ + ٢٣ + ••• + ٢٦٢ + ٢٦٣ + ٢٦٤ • وهو تتابع من الأرقام يزيد كل حد فيه عن السابق بنفس القدر وباستمرار (الأساس فى هذه الحالة هو ٢) • وهذا التتابع يعرف **بالمتوالية الهندسية** ويمكن ايجاد مجموع الحدود فيها برفع الأساس الثابت (وهو ٢ هنا) الى الأس الذى يمثل عدد حدود المتوالية (٦٤) مع طرح رقم الحد الأول (١) ثم قسمة الناتج السابق على الأساس ناقصا (١) وهذا يوضع على الصورة الآتية :

$$\frac{٢^{٦٤} - ١ = ٢^{٦٣} \times ٢ - ١}{٢ - ١}$$

ويمكن كتابة الرقم على الوجه التالى ١٨٫٤٤٦٫٧٤٤٫٠٧٣٫٧٠٩٫٥٥١٫٦١٥

(*) مكيال للحبوب يساوى ٣٠٫٢٨٢٤٨ لترا فى الولايات المتحدة (المترجم)

(٦) W. W. R. Ball, Mathematical Recreations and Essays (The Macmillan Co., New York, 1939).

تقضى بأن يقوم الكاهن بنقل قرص واحد فى كل مرة ، وعليه أن يرتب هذه الأقراص بنفس النظام الأكبر فالأصغر دون اخلال بهذه القاعدة • وعندما يتم نقل الأربعة وستين قرصا بالطريقة السابقة من الابرة الأصلية حيث وضعها الاله فى بداية الخليقة الى ابرة أخرى فان البرج والمعبد ومعابد البراهمة الأخرى ستصبح أثرا بعد عين ، ويفنى العالم اثر صاعقة مدوية •

ويعبر شكل (٣) عما أوضحناه سابقا من طقوس فيما عدا أن عدد الأقراص فيه أقل ، ويمكنك أن تجرب هذا العمل بنفسك باستخدام أقراص من الورق المقوى بدلا من الذهب ، ومسامير حديدية بدلا من الماس الذى نجده فى الاسطورة الهندية •

ان معرفة القاعدة العامة التى يتم على أساسها نقل الأقراص ليست بالأمر الصعب ، فاذا ما عرفتها ستدرك أن نقل كل قرص يتطلب ضعفى عدد النقلات فى القرص السابق الأكبر منه ، فالقرص الأول يتطلب نقله واحدة ، ولكن العدد يتضاعف بعد ذلك فى كل قرص تال ، وبذلك عند الوصول الى آخر قرص (رقم ٦٤) نجد أن النقلات اللازمة تساوى عدد



(شكل رقم ٣)

الشكل رقم (٣) : احد الكهان وهو مشغول بمشكلة « نهاية العالم » ونرى خلفه تمثالا ضخما لبراهما • وعدد الأقراص المبين بالشكل يقل عن ٦٤ قرصا وذلك لصعوبة رسم هذا العدد منها •

حبات القمح التى طلبها سيسا بن ظاهر (٧) ٠

والآن ما المدة اللازمة لنقل الأربعة والستين قرصا فى برج براهما من ابرة الى أخرى ؟ لنفرض أن الكهنة قد مارسوا عملهم ليل نهار ، دون اجازات أو عطلات ، وأن كل نقلة تستغرق ثانية .. ولما كانت السنة تساوى ٣١٫٥٥٨٫٠٠٠ ثانية فان الزمن المطلوب لانجاز المهمة لن يقل عن **ثمانية وخمسين بليونا من الأعوام ٠**

ومن المشوق أن نقارن بين عمر الكون وفقا لتلك الاسطورة وتقديرات علمائنا فى هذا العصر ٠ وطبقا للنظرية المعاصرة عن نشأة الكون ، أى النجوم ، والشمس ، والكواكب بما فيها الأرض التى نعيش عليها ، فقد نشأ كل هذا منذ ٣ × ١٠^٩ عاما عن كتل غير محددة المعالم ٠ ونحن نعرف أيضا أن « الوقود الذرى » الذى يشحن النجوم بالطاقة ومنها شمسنا سوف ينفد بعد ١٠^١٠ أو ١٫٥ × ١٠^١٠ من الأعوام انظر فصل « أيام الخلق » وهكذا نرى أن اجمالى عمر الكون يقل بالتأكيد عن ٢ × ١٠^١٠ من الأعوام فأين هذا من عمر الكون الذى تحدده الأسطورة وهو ٥٫٨ × ١٠^١٣ ، ولكنها على أية حال مجرد أسطورة ٠

وربما كان أعلى الأرقام التى دونت ذلك الذى ورد فى « مشكلة السطر المطبوع » الشهيرة ٠ ولنفرض أننا صنعنا آلة طباعة تعمل دون توقف سطرا بعد آخر ، وهى فى ذلك تتعامل مع عدد من الحروف الأبجدية والرموز المطبعية بشكل أتوماتيكى ٠

ان هذه الآلة ستتكون من عدد من الأقراص المنفصلة التى تحتوى حافتها الخارجية على كافة الرموز والحروف ، وتترتب هذه الأقراص مع بعضها كما فى أقراص عداد السيارات (سواء بالأميال أو الكيلومترات) بحيث تؤدى دورة كاملة فى قرص الى حركة واحدة فيما يليه ٠ وتتم الطباعة بالضغط آليا على الورق عند خروجه من لفته (رول) مع كل حركة ٠ ويمكن اعداد هذه الآلة دون صعوبة جمة ونرى فى شكل (٤) رسما ايضاحيا لها ٠

---

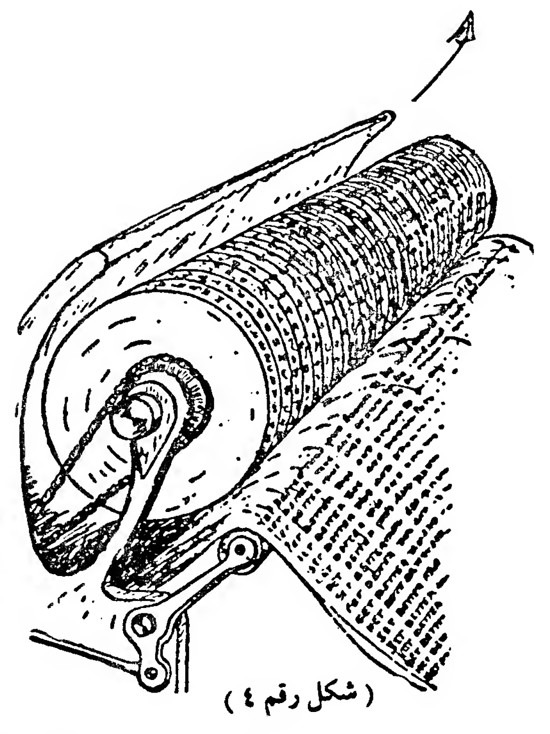
(٧) لو كان ما لدينا لا يزيد عن سبعة أقراص فان عدد الحركات المطلوبة هو :

١ + ٢^١ + ٢^٢ + ٢^٣ ... الخ أو ٢^٧ − ١ = ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢ − ١ = ١٢٧

واذا نقلت الأقراص بسرعة ودون خطأ فان الأمر يستغرق منك حوالى ساعة لاتمام المهمة ومع ٦٤ قرصا فان العدد الكلى للحركات المطلوبة هو :

٢^٦٤ − ١ = ١٨٫٤٤٦٫٧٤٤٫٠٧٣٫٧٠٩٫٥٥١٫٦١٥

وهو نفس عدد حبات القمح التى طلبها سيزا بن ظاهر ٠



(شكل رقم ٤)

شكل (٤) : مطبعة أتوماتيكية فرغت لتوها من طباعة سطر كتبه « العقاد » بعد عدد رهيب من السطور .

والآن لنبدأ بادارة المطبعة ، وبعد ذلك دعنا نفحص انتاجها اللانهائى من السطور المختلفة وسوف نجد أن أغلب السطور لا معنى لها فهى تبدو فى الصور الآتية :

« أ أ أ أ أ أ أ أ أ أ أ .... »

أو

« ب وو ب وو ب وو ب وو ب .... »

أو قد تكون

« ز او كبوربك أو سسسسكيلم ..... »

ولكن لما كانت الآلة تطبع **كل ما يمكن** من توليفات الأحرف والرموز فسنجد بين هذه الجمل المختلفة جملا لها معان . كما سنجد بالطبع كثيرا من الجمل عديمة النفع مثل :

« الحصان له ستة أرجل .... »

أو

« أحب التفاح المطهو بزيت التربنتين .... »

ولكن مهلا هناك أيضا كل ما كتبه العقاد حتى على الأوراق التى ألقاها بنفسه فى سلة مهملاته (*) !! ٠

والحقيقة أن مثل هذه المطبعة سوف تطبع لنا كل ما كتب على الاطلاق فى تاريخ البشرية منذ أن عرفت الكتابة ، كل سطر من نثر أو شعر ، كل مقالة تصدرت جريدة أو اعلان ظهر فيها ، وكل مجلد ثقيـــل من الأبحاث العلمية ، وكل خطاب كتبه عاشق أو عاشقة ، وكل ملاحظة حوتها ورقة مكتوبة لمحصل الكهرباء أو الغاز ...

بل ان الماكينـــــة سوف تطبع كل شىء ينتظر حدوثه فى القرون القادمة ٠ فعلى « الرول » الخارج منها سوف نجد شعر العصر الجاهلى ، والاكتشافات العلمية فى المستقبل وتراجم الكلمات التى ستلقى فى الدورة رقم ٥٠٠ للكونجرس الأمريكى ، وسردا لأخبـــار حوادث الصدام بين الكواكب فى عام ٢٣٤٤ ٠ وعلى هذا الورق سنجد صفحات وصفحات من القصص القصيرة ، والروايات المطولة ، التى لم تخطها يد انسان بعـد ، وما على الناشرين الذين يحتفظون بهذه الماكينات فى بدروم مطابعهم الا أن يختاروا وينتقوا ما يصلح للنشر من بين التفاهات ، وهو أمر ليس بجديد عليهم على كل حال ٠

فلم لا يفعلون ذلك ؟!! ٠

حسن ، هيا نحصى عدد السطور التى يمكن للماكينة أن تطبعها حتى نحصل على جميع السطور التى يمكن طباعتها من بين الحروف الأبجدية والرموز ، هناك ثمانية وعشرون حرفا فى الأبجدية العربية ، وعشرة أرقام (١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ... ، ٩ ، ١٠) (**) ، واثنتا عشرة علامة (الفراغ ، النقطة ، الفاصلة ، النقطتان ، الفاصلة المنقوطة ، وعلامة الاستفهام ، وعلامة التعجب ، والشرطة ، وعلامات التنصيص ، والأقواس ، والشرطة المائلة ، والحواصر [ ] أى ٥٠ رمزا ٠ ولنفرض أيضا بالآلة ٦٥ عجلة تقابل ٦٥ مكانا (لحرف أو لقم أو علامة) باعتبارها متوسطا لسطر مطبعى. وقد يبدأ السطر بأى علامة وهكذا نجد لدينا ٥٠ احتمالا ٠ ولكل واحد من هذه الاحتمالات هناك خمسون احتمالا بالنسبة للعلامة أو الحرف الذى يأتى بعده أى ٥٠ × ٥٠ = ٢٥٠٠ احتمال ويأتى الحرف الذى يليه فنجـد

(*) فى الأصل شكسبير وهو كاتب مسرحى وشـــاعر انجليزى معروف ٠ ولكنى استبدلته بالعقاد أولا ليناسب المثال بعد ترجمته وثانيا لتنوع وثراء انتاجه ، رحمه الله ٠

(**) الواقع أن هذه الأرقام ليست عربية بل هندية ، والأرقام العربية هى التى يظن الكثيرون الآن (عدا أهل المغرب العربى) انها افرنجية وهى :
(1 — 2 — 3 — 4 ......)

أيضا خمسين احتمالا وهكذا فى كل حرف يليـــه • ويمكن بيـان عدد التوليفات الممكنة فى السطر كله كما يلى :

$$\underbrace{٥٠ \times \cdots \times ٥٠ \times ٥٠ \times ٥٠}_{\text{٦٥ مرة}}$$

أو $٥٠^{٦٥}$

أى ما يساوى $١٠^{١١٠}$

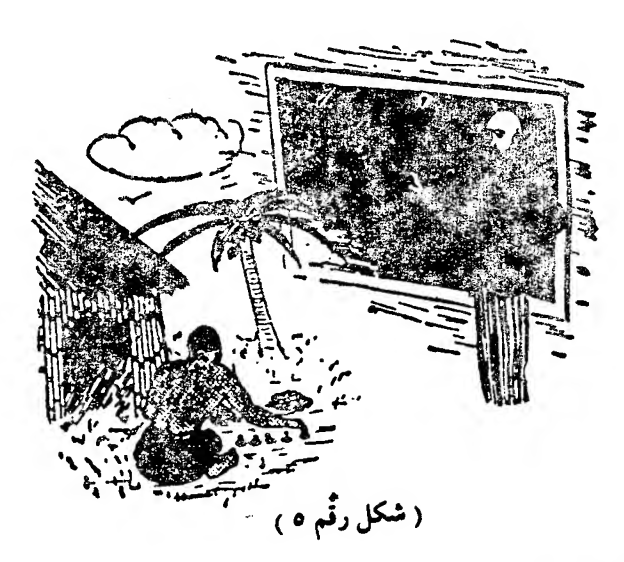
ولكى تشعر بهول هذا الرقم ، افترض أن كل ذرة فى الكون تمثل آلة طباعة منفصلة عن الأخرى ، فيكون لدينا ٣×١٠^{٧٤} آلة طباعة تعمل فى وقت واحد • وزد على ذلك الافتراض بأن هذه الماكينات لم تتـوقف عن العمل منذ خلق الكون أى منذ ٣×١٠^{٩} سـنة ، أو $١٠^{١٧}$ ثانيـة على أن تطبع بسرعة الاهتزازات الذرية أى $١٠^{١٥}$ سطرا فى الثانية ، فيكون لدينا الآن : $٣ \times ١٠^{٧٤} \times ١٠^{١٧} \times ١٠^{١٥} = ٣ \times ١٠^{١٠٦}$ سطر مطبعى وهذا لا يكاد يفى .٣٪ فى المائة من الرقم الكلى المطلوب • وزد على ذلك أننـا بحاجة الى دهر طويل للاختيار بين هذه السطور المطبعية الأتوماتيكية •

٢ ــ كيف تعد اللانهايات ؟ •

تعرضنا فيما سبق لأعداد أغلبها رهيب جدا • ولكن على الرغم من أن هذه الأعداد مثل حبات قمح سيسا بن ظاهر أضخم من قدرتنا على التصور الا أنها قابلة للحساب ويمكن للمرء تدوينها عن آخرها لو أعطى الوقت الكافى • على أن هناك فعلا أعدادا لا نهائية تزيد عن أى عدد قابل للتدوين مهما كان الزمن المتاح • ومن ثم فان عدد « **جميع الأعـداد** » يعتبر عددا لانهائيا ، وكذا « **عدد النقاط الهندسية على خط مستقيم** » ، فهل يمكن وصف هذه الأعداد الا بأنها لا نهائية ، أو هل نستطيع مثلا أن نقارن بين عددين لا نهائيين لنرى أيهما أكبر من الآخر ؟ •

هل يعقل أن نسأل : أيما أكبر ؟ عدد الأرقام كلها أم عدد النقاط الهندسية الواقعة على خط مستقيم ؟ • لقـد كان « جورج كانتـور G. Cantor » الرياضى الشهير الذى يدعى بحق مؤسس علم « الحساب اللانهائى » أول من تعرض لهذه القضايا التى تبدو لأول وهلة ضربا من ضروب الخيال •

ولو أردنا أن نتكلم عن أكبر الأعداد اللانهائية وأصغرها لواجهتنا مشكلة المقارنة بين أعداد ليس بمقدورنا حسابهـا أو كتابتهـا ، وهى لا تختلف تقريبـا من هذه الناحيـة عن محاولة أحد « الهوتنتـوت » لاحصاء محتويات الصندوق الذى يحتوى على ثروته ، أو رغبته فى معرفة



(شكل رقم ٥)

شكل رقم (٥) مواطن افريقى يقارن مع البروفسور ج. كانتور ارقاما تفوق قدرتها على العد .

ان كان عدد خرزات الزجاج التى يملكها أكبر من عدد العملات النحاسية التى بحوزته أم لا . ولكن الهوتننوت لا يستطيعون العد لأكثر من ثلاثة كما قد تذكر . اذن هل سيتخلى هذا الافريقى عن كافة محاولاته للمقارنة بين عدد خرزات الزجاج وعدد العملات النحاسية لأنه لا يستطيع عدهما ؟ والجواب هو بالطبع لا . فلو كان على قدر كاف من الذكاء فسوف يجرى المقارنة بينهما واحدة بواحدة . ولسوف يضع خرزة فى مقابل أولى عملاته ، ثم خرزة أخرى أمام العملة الثانية وهكذا .... فاذا ما نفذ الخرز فى الوقت الذى تتبقى فيه بعض العملات ، فسيعرف أن العملات المملوكة له أكبر عددا من الخرز والعكس صحيح . واذا نفذ الاثنان معا فسيعرف أن عدد الخرز مساو لعدد العملات .

وهذه الطريقة هى نفس الأسلوب الذى اقترحه كانتور فى مقارنة عددين لا نهائيين ، فاذا تمكنا من المزاوجة بين مفردات مجموعتين لا نهائيتين بحيث نضع أمام كل وحدة فى هذه المجموعة وحدة أخرى فى المجموعة الثانية بحيث لا تبقى وحدة مفردة لدل ذلك على تساويهما . واذا لم نتمكن من ذلك بحيث تبقى بعض وحدات المجموعة الأولى دون مقابل فى الثانية كان ذلك دليلا على أن هذه المجموعة أكبر من الأخرى ، أو يمكن أن نقول أقوى فى لا نهائيتها من المجموعة الأخرى .

وهذه بالتأكيد أقرب القواعد الى العقل ، بل هى فى الواقع القاعدة الوحيدة الصالحة للتطبيق عند المقارنة بين كميتين لانهائيتين ، على أننا

يجب أن نعد أنفسنا لبعض المفاجآت عند البدء فى تطبيقها بالفعل ، خذ على ذلك مثلا المقارنة بين الأعداد الفردية وكل الأعداد الزوجية . سوف تشعر ، بداهة بالطبع ، أن عدد الأرقام الفردية يساوى تماما عدد الأرقام الزوجية ، وهذا يتفق تماما مع القاعدة التى سبق ذكرها ، اذ أن مقابلة الأرقام بعضها يمكن اجراؤها كما يلى :

١	٣	٥	٧	٩	١١	١٣	١٥	١٧	١٩ ... الخ .
⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕
٢	٤	٦	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	٢٠ ... الخ .

فهناك رقم فردى لكل رقم زوجى فى الجدول والعكس بالعكس ، اذن فلا نهائية الأرقام الفردية تتساوى مع لا نهائية الأرقام الزوجيـــة والحق أن هذه النتيجة تبدو منطقية تماما وواضحة .

ولكن تمهل دقيقة ! . أى العددين أكبر فى اعتقادك ؟ :

عدد الأرقام الزوجية والفردية معا أم عدد الأرقام الزوجية وحدهما ؟ بالطبع سوف نقول ان عدد الأرقام الزوجية والفردية أكبر ، اذ أنه يتضمن جميع الأعداد الزوجية بالاضافة الى الفردية .

ولكن الأمر يختلف عما تعتقد ، ولكى تحصل على النتيجة الصحيحة عليك أن تطبق القاعدة السابقة للمقـــارنة بين مجمـــوعتين لا نهائيتين حدا ــ بحد فاذا ما استخدمتها ، وجدت ــ ولسوف يدهشك ذلك ــ أن ما تعتقده غير صحيح فالحقيقة أن جدول المقارنة ، حد مقابل حد ، بين كل الأعداد من ناحية والأعداد الزوجية من ناحية أخرى سوف يتمخض عن التالى :

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩ ... الخ .
⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕
٢	٤	٦	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨ ... الخ .

وفقا لقاعدتنا فى المقارنة ، نحن لا محالة قائلون ان لا نهائية الأرقام الزوجية تتساوى تماما مع لا نهائية كل الأرقام . وبالطبع يبدو ذلك متناقضا ، ذلك أن الأعداد الزوجية لا تمثل الا جزءا من جميع الأعداد ولكن علينا أن نتذكر أننا نتعامل مع الأعداد اللانهائية ، ولا مفر لنا من أن نعد أنفسنا لمواجهة خواص **شاذة** .

فصدق أو لا تصدق فى عالم اللانهاية **قد يتساوى الجزء مع الكل ؟؟** وخير ما يوضح ذلك ، هذا المقال المأخوذ مما روى عن الرياضى الألمـانى

الشهير « دافيد هيلبرت ”David Helbert الذى عالج هذه الخاصية للأرقام اللانهائية فى احدى محاضراته (٨) مستخدما المثال الآتى :

(لنتخيل فندقا به عدد محدد من الغرف ، ولنفترض أن كافة هذه الغرف مشغولة • ثم يصل **نزيل** جديد ويطلب غرفة فيرد الموظف قائلا : « عذرا ، فان كافة الغرف مشغولة » • والآن دعونا نتصور فندقا آخر به عدد **لا نهائى** من الغرف وهى مشغولة بالكامل أيضا ، ويصل نزيل جديد يطلب **حجزا** ، سيرد **الموظف** « **أهلا بك** » • ثم ينقل الشخص الذى كان يحتل غرفة رقم ن١ الى غرفة رقم ن٢ ، وينقـــل الأخير الى غرفة ن٣ ، ونزيل ن٣ الى ن٤ وهلم جرة ، ثم ينزل النزيل الجديد فى الغرفة ن١ التى تصبح خالية نتيجة لهذه التنقلات والآن لنتصور فندقا به عدد لا نهائى من الحجرات المشغولة ، وعدد لا نهائى من النزلاء الجدد الذين يأتون طالبين الاقامة فى الفندق ، وسوف يرد الموظف « بالطبع أيها السادة نحن فى خدمتكم ، دقيقة واحدة » • ثم ينقل نزيل الغرفة ن١ الى ن٢ ، ونزيل ن٢ الى ن٤ ، و ن٣ الى ن٦ وهكذا دواليك •• والآن أصبحت كافة الغرف ذات الأرقام الفردية خالية ، ويمكن بذلك اعطاء جميع النزلاء غرفا فى الفندق بسهولة » •

حسن •• قد يصعب علينا أن نتخيل هذه الظروف التى وردت فى محاضرة هيلبرت حتى فى حكايات « ألف ليلة وليلة » ، ولكن هذا يفيد بالتأكيد فى ايضاح الفكرة التى مؤداها أنه عندما نتعـــامل مع أعداد لا نهائية ، فاننا نواجه خواصا تشذ نوعا عن الخواص المعتادة فى الرياضيات العادية •

وباتباع قاعدة « كانتور » (Cantor) نستطيع أيضا أن نبرهن على أن عدد الكسور الاعتيادية مثل ٣/٧ ، ٧/٣٥٨ يتساوى مع عدد الأرقام الصحيحة • والحقيقة أنه بمقدورنا ترتيب كافة الكســور الاعتيادية فى صف وفقا للقاعدة الآتية :

« فى البداية اكتب الكسور التى يساوى مجموع البسط والمقـــام فيها رقم ٢ ، ولن تجد الا كسرا واحدا من هذا النوع وهو بالتحديد : ١/١ ثم اكتب الكسور التى يكون مجموع البسط والمقام فيها ٣ وسوف تجد كسرين هما : ١/٢ ، ٢/١ ثم الكسور التى مجموع البسط والمقام فيهـــا يساوى ٤ وهى ١/٣ ، ٣/١ ، ٢/٢ وهكذا • وباتباع هذا الاجراء ستجد

(٨) نقلا عن « المجموعة الكاملة لقصص هلبرت » وهو عمل لم يكتب له أن يرى النور وان كانت القصص المتضمنة فيه متداولة على نطاق واسع • (من تأليف ر• كورانت) •

تتابعا لا نهائيا من الكسور يحتوى على أى كسر يمكن تصوره (شكل ٥)
والآن اكتب فوق هذه الكسور متوالية من الأعداد الصحيحة طبقا ، لقاعدة
حد مقابل حد للمقارنة بين لا نهائية الكسور ولا نهائية الأعداد الصحيحة .
وستجد أنهما متساويان ·

وربما قلت « هذا شيء لطيف جدا ، ولكن أليس معنى ذلك أن جميع
اللانهائيات متساوية مع بعضـــــها البعض ؟ واذا كان الأمر كذلك ،
فما جدوى المقارنة اذن ؟ » ·

كلا فالأمر ليس كذلك ، فاذا تعرضنا للسؤال الذى أوردناه من قبل
فى هذا الفصل ، عن عدد النقـــاط فى خط بالمقارنة مع عـــدد الأعداد
الصحيحة ، لوجدنا أن هذين العددين غير متساويين ، فعدد النقاط فى خط
يزيد كثيرا عن كل من الأعداد الصحيحة أو الكسور · ولاثبات ذلك دعنا
نحاول تطبيق قاعدة التناظر على النقاط الواقعــة على خط مســتقيم طوله
بوصة واحدة مثلا : ان كل نقطة على الخط تحدد بالمسافة بينها وبين احدى
نهايتى هذا الخط ويمكن كتابة هذه المسافة فى صورة كسر عشرى لا نهائى
مثـــل ٠٫٧٣٥٠٦٢٤٧٨٠٠٥٦٠٠٠ أو ٠٫٣٨٢٥٠٣٧٥٦٣٢٠٠٠ (٩) · اذن
علينا أن نقارن بين الأعداد الصحيحة محلها ، والكسور العشرية الممكنة
واللانهائية ·

والآن ما الفرق بين الكسر العشرى والكسر الاعتيادى مثـــل $\frac{٤}{٧}$
أو $\frac{١}{٢}$ ؟ لابد وأنك تذكر من دراستك للرياضيات أن كل كسر اعتيادى
يمكن تحويله الى كسر عشرى **تقريبى** · وهكذا فان ٢/٣ = ٦٦٦٦٦ر = (٦)ر
و $\frac{٣}{٧}$ = ٤٢٨٥٧١ر٠ ⋮ ٤٢٨٥٧١ ⋮ ٤٢٨٥٧١ ⋮ ٤٠٠٠ =
(٤٢٨٥٧١)ر · وقد ذكرنا فيما سبق أن عدد الكســـور الاعتيـادية
يتساوى مع العـــدد الكلى للأرقام الصحيحة ، وهـــكذا فان الكسور
العشرية **المقربة** لابد وأن تتساوى مع الأعداد الصحيحة أيضا · ولـكن
النقاط الموجودة فى خط مستقيم لا تمثل بالضرورة الكســـور العشرية
المقربة · ففى أغلب الأحيان سنحصل على كسور لا نهائية يبدو فيها الرقم
العشرى دون أى تقريب اطلاقا ، ومن السهل عندئذ أن يتضح لنا أنه
لا يمكن الحصول على ترتيب خطى ·

افترض أن شخصا ما يزعم أن بمقدوره اجراء هـــذا الترتيب على
الصورة التالية :

---

(٩) جميع هذه الكسور يقل عن الواحدة اذ أننا قد فرضنا أن طول الخط يقل عن
بوصة ·

العـــدد

١	٠٠ر٣٨٦٠٢٥٦٣٠٧٨٠٠٠
٢	٠٠ر٥٧ ٣٥٠٧٦٢٠٥٠٠٠
٣	٠٠ر٩٩٣٥٦٧٥٣٢٠٧٠٠٠
٤	٠٠ر٢٥٧٦٣٢٠٠٤٥٦٠٠٠
٥	٠٠ر٠٠٠٠٥٣٢٠٥٦٢٠٠٠
٦	٠٠ر٩٩٠٣٥٦٣٨٥٦٧٠٠٠
٧	٠٠ر٥٥٥٢٢٧٣٠٥٦٧٠٠٠
٨	٠٠ر٠٥٢٧٧٣٦٥٦٤٢٠٠٠
٠	....
٠	....

ولما كان يستحيل كتابة الأعداد اللانهائيـــة ، وفى مقابلها جميع الكسور العشرية اللانهائية ، فان الدعوى السابقة تعـــنى أن من يكتب الجدول لابد أنه يستند على قاعدة عامة (مثل القاعدة التى استندنا اليها عند ترتيب الكسور الاعتيادية) ، ووفقا لهذه القـــاعدة يتم ترتيب الجدول ، وهى تضمن أن أى كسر عشرى يمكن تصوره لابد أن يحتـوى الجدول عليه .

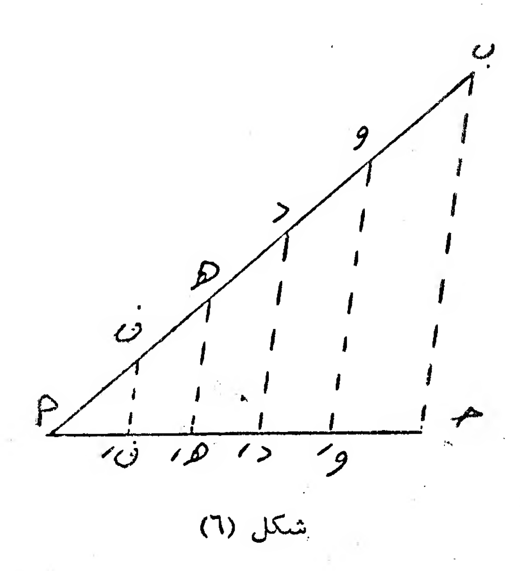
وليس من الصعب اطلاقا ايضاح أن أى زعم من هذا القبيل يمكن تفنيده ، اذ أننا نستطيع دائمـا أن نكتب رقما عشريا لا يتضـــمنه هذا الجدول ، وكيف يمكن ذلك ؟ .. الاجابة سهلة ، ما عليك الا أن تكتب الكسر المحتوى على أول رقم عشرى مخالف للموجود أمام العدد (١) فى الجدول ، والرقم العشرى الثانى المختلف عن مقابل العدد (٢) وهكذا . وسوف تحصل على رقم يتشابه نوعا مع الأرقام التالية :

٥	٢	٧	٤	صـفر	٧	١	٢
وليس	وليس	وليس	وليس	وليس	وليس	وليس	وليس
٣	٧	٣	٦	٥	٦	٣	٥

ولن تجد هذا الرقم فى الجدول مهما بحثت عنـــه . فاذا ما أجاب صاحب الجدول بأنك سوف تجد هذا الكسر مقابل رقم ١٣٧ (أو أى رقم آخر) فيمكنك أن تجيب فى الحال « كلا فهو ليس نفس الرقم ذلك أن الكسر العشرى الموجود أمام رقم ١٣٧ فى جدولك يختلف عن ذلك الكسر الموجود أمام رقم ١٣٧ فى جدولى » .

وهكذا يستحيل وضع جدول تناظرى بين النقاط على خط مستقيم والأعداد الصحيحة وهذا يعنى أن **لا نهائية نقاط الخط المستقيم تزيد ، أو هى أقوى من لا نهائية جميع الأعداد الصحيحة أو الكسور** ٠

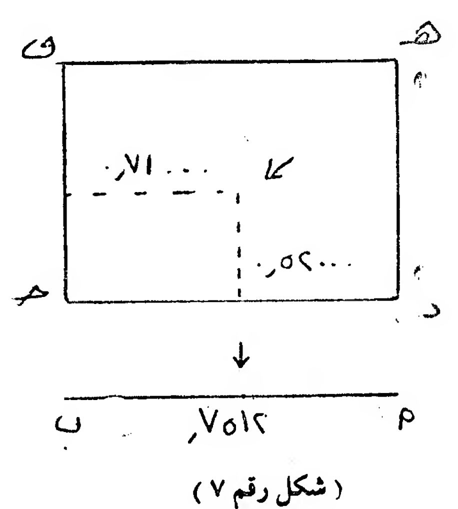
لقد عالجنا النقاط على خط طوله « بوصة واحدة » ولكن من السهل الآن أن نبين ، تطبيقا للقواعد الخاصة « بالحساب اللانهائى » أن النتيجة التى سبق الوصول اليها تصح فى جميع الأطوال ٠ والحقيقة **أن عدد النقاط الهندسية الموجودة على خط طوله سنتيمتر واحد ، يساوى نقاط خط طوله متر أو حتى كيلومترات** ٠ وحتى يتسنى لك اثبات ذلك ما عليك الا أن تلقى نظرة على شكل رقم (٦) الذى نقارن فيه بين عدد النقاط على خطين مختلفين فى الطول أ ب ، أ ج ٠ وحتى يمكن اجراء مقارنة حد مقابل حد نرسم خطا يصل كل نقطة على الخط أ ب ، بنقطة على الخط أ ج بحيث يوازى الخط ب ج ، على أن تعطى رموزا مثل ف ف َ لخط ما ، و هـ هـ لخط آخر ، و د د ً لخط ثالث الخ وسوف تجد أن لكل نقطة على الخط أ ب هناك نقطة على الخط أ ج والعكس بالعكس ، ولذا فطبقا لقاعدتنا فى مقارنة اللانهائيات يتساوى عدد النقاط ٠



شكل (٦)

والأعجب من ذلك ، هذه النتيجة التى تتضمنها العبارة التاليــة : **ان عدد النقاط الموجودة على خط واحد يساوى عدد النقاط الموجودة فى مستوى** ولاثبات ذلك ، أمعن النظر فى النقاط الموجــودة على الخط أ ب بطول بوصة واحدة والنقاط داخل المربع ج د هـ ف ٠ (شكل ٧) ٠

ولنفرض أن موضع نقطة ما على الخط يتحدد برقم ٠ر٧٥١٢٠٣٨٦٠٠ مثلا بامكاننا أن نحلل هذا العدد الى عددين مختلفين باختيار موضعين عشريين أحدهما فردى والآخر زوجى ، ووضعهما معا فنحصل على الرقمين : ٠ر٧١٠٨٠٠٠ ، ٠ر٥٢٣٦٠٠٠ (*) .



(شكل رقم ٧)

قس المسافة التى يحددها هذان الرقمان على المحورين الرأسى والأفقى للمربع ، ويطلق على هذه النقطة « النقطة المزدوجة » للنقطة الأصلية على الخط . وبالعكس ، اذا وجدت نقطة داخل المربع لها احداثيان ، نفترض أنهما ٠ر٤٨٣٥٠٠٠٠ ، ٠ر٩٩٠٧٠٠٠ سوف نحصل على النقطة المقابلة على الخط ، التى يحددها الرقم : ٠ر٤٩٨٩٣٠٥٧٠٠٠

ومن الواضح أن هذا الاجراء يمكننا من انشاء علاقة تناظر بين هذين النوعين من النقاط ، فكل نقطة على الخط سوف تقابلها نقطة مزدوجة داخل المربع ، ولن تبقى نقطة واحدة بغير مقابل لها .

وبالمثل يمكن اثبات أن لا نهائية النقاط على مكعب ، تتساوى مع لا نهائية النقاط داخل مربع أو على خط ، وحتى نفعل ذلك يمكننا ببساطة أن نحلل الرقم العشرى الأصلى الى ثلاثة أجزاء (١٠) ، ونستخدم الثلاثة

(*) الرقم الأول (٠ر٧١٠٨٠٠٠) يبدأ من أول رقم على يمين العلامة وهو الموضع الفردى وهكذا بالتبادل بحيث نأخذ رقما ونهمل الذى يليه .

والرقم الثانى (٠ر٥٢٣٦٠٠٠) يبدأ من ثانى رقم على يمين العلامة وهو الموضع الزوجى (المترجم) .

(١٠) فمن الرقم ٠ر٧٣٥١٠٦٨٢٢٥٤٨٣١٢ مثلا نحصل على : ٠ر٧١٨٥٣

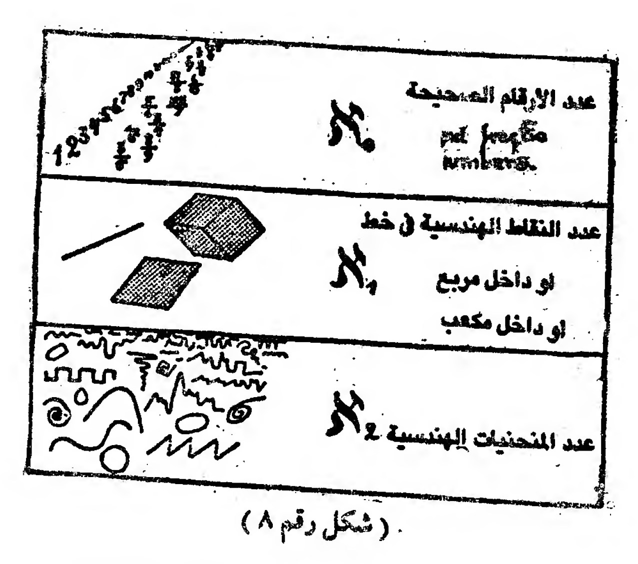
٠ر٣٠٢٤١

٠ر٥٦٢٨٢

ارقام التى تم الحصول عليها فى تحديد موضع « النقطة المزدوجة » داخل المكعب . وسوف نجد أن النقط داخل مكعب أو مربع تتساوى تماما مع النقط على خط تماما كما هو الحال بالنسبة لخطين مختلفى الطول مهمـا اختلفت أحجام المكعبات ومساحات المربعات وأطوال الخطوط على أن العدد الكلى للنقاط الهندسية لا يعتبر أكبر رقم معروف عند علماء الرياضيات ، على الرغم من أنه أكبر من جميع الأعداد الصحيحة والكسور الاعتيادية ، وفى الواقع لقد وجد أن **كافة صور المنحنيات بما فى ذلك أكثرها غرابة تفوق فى عددها عدد النقاط الهندسية وبذا فانها تتصدر جميع الأعـداد اللانهائية فى الترتيب .**

ووفقا لجورج كانتور مؤسس علم « الحساب اللانهائى » يرمز للأعداد اللانهائية بالحرف ألف (*) أو الرمز الرياضى ∞ مع اضافة رقم أسفل يمين الحرف للاشارة الى ترتيبه فى قائمة اللانهائيـــات ، وهكذا يكتب تتابع الأرقام (بما فى ذلك اللانهائى منها) كما يلى :

١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ .... ∞_1 ، ∞_2 ، ∞_3



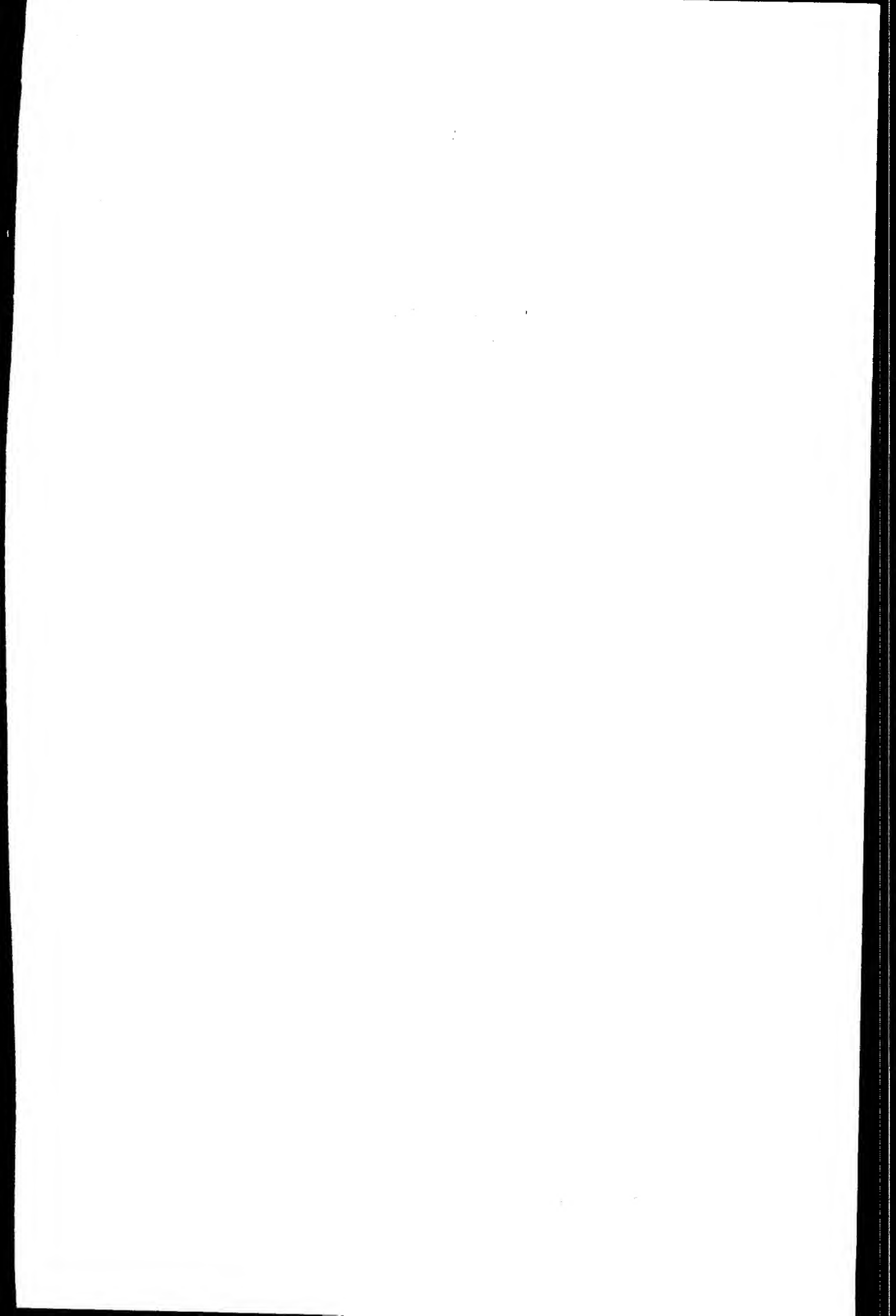
(شكل رقم ٨)

شكل رقم (٨) : الثلاث لا نهائيات الأولى وفقا لترتيبها

ويمكن القول انه « هناك عدد ∞_1 نقطة على الخط المســتقيم » أو هناك عدد ٢ × منحنى مختلف » تماما كما نقول ان « **العالم به ست** قارات » ، أو أن « أوراق اللعب ٥٢ ورقة » .

(*) فى العبرية .

وفى ختام الحديث عن الأعداد اللانهائية نقول ، ان هذه الأعـداد يمكنها بسرعة بالغة أن تتجاوز أى مجموعة أرقام يمكن لشخص ما أن يفكر فيها . ونحن نعلم أن ∞ يمثل عدد الأرقام الصحيحة ، وأن ∞_1 يمثل العدد الكلى للنقاط الهندسية والعدد ∞_2 يمثل كافة المنحنيات الممكنة ، على أن أحدا لم يتوصل حتى الآن الى تحديد نوع من اللانهـائيات يمكن اعطاؤه الرقم ∞_3 . ويبدو أن الثلاث لا نهائيات الأولى تكفى لعد أى شىء يخطر ببالنا وهكذا نجد أنفسنا فى نفس الموقف الذى يواجهه صاحبنا القديم من أبناء الهوتنتـوت حين ينجب أكثر من ثلاثة وهو لا يستطيع عدهم !! .



الفصل الثانى

الأعداد الطبيعية والإعداد التخيلية

١ - الرياضيات البحتة :

تعتبر الرياضيات عادة ، وخاصة من وجهة نظر الرياضيين ملكة العلوم ، ولما كانت ملكة فمن الطبيعى أن تحاول الترفع عن العلاقات غير المتكافئة مع غيرها من أفرع المعرفة . ولذا عندما طلب من « دافيد هلبرت » ، على سبيل المثال ، أن يلقى كلمة افتتاحية فى اجتماع مشترك بين علماء الرياضة البحتة والرياضة التطبيقية ليلطف من حدة الشعور العدائى الذى ساد بينهما بدأ كلمته قائلا :

« يزعم البعض أن الكثير من علماء الرياضة البحتة والتطبيقية ، يبادل كل منهما الآخر عداء بعداء ، وهذا ليس صحيحا ، فليس بين هذين الفرعين من الرياضة أى عداء . ولم يكن بين علماء الرياضة البحتة والرياضة التطبيقية أى عداء من قبل ، ولن يوجد بين علماء الرياضة البحتة والرياضة التطبيقية أى عداء فى المستقبل ، ولا يمكن أن يكون هناك أى عداء بين الرياضة البحتة والرياضة التطبيقية ، فالحقيقة أنه لا توجد أى صلة على الاطلاق بين هذين الفرعين من الرياضيات » . ولكن على الرغم من ميل علم الرياضيات الى التفرد والتجريدية أكثر من غيره من العلوم ، الا أن باقى العلوم ، ولا سيما الفيزياء ، تميل الى الرياضيات ، وتحاول أن « تتآخى » معها بقدر الامكان . ولا يوجد فرع فى الرياضيات البحتة تقريبا الا ويستخدم فى ايضاح ، ظاهرة أو أخرى من ظواهر الكون الطبيعى . وهذا يتضمن أفرعا من المعرفة مثل نظرية

الفئات المجردة ، والجبر غير التبادلى ، والهندسة اللااقليدية ، والتى كانت تعتبر دائما من الرياضيات البحتة ، غير القـــابلة لأى تطبيق على أن هناك فرعا كبيرا من الرياضـــيات نجح حتى الآن فى أن يبقى غير ذى اتصال ، أو نفع لأى علم فيما عدا استخدامه فى التدريب الذهنى ، وبذا يمكنه أن يتوج بفخر ب « تاج التجرد المطلق » • وهذا الفرع هو ما يسمى ب « نظرية الأعداد » (أى الأعداد الصحيحة) وهو أحد أقدم وأعقد ثمار الفكر الرياضى البحت •

وعلى الرغم من غرابة هذا القول ، الا أن نظرية الأعداد ، بصفتها أرقى أنواع الرياضة البحتة (من حيث التجرد) الا أنها تعتبر من وجهة نظر معينة علما تطبيقيا بل تجريبيا أيضا • والواقع أن أغلب فروضها قد قامت على براهين رياضية ، كالفيزياء تمـــاما • فى حين ظلت بقية الفروض مستندة الى التجربة أو الأصل التطبيقى فأعجزت عقول خيرة علماء الرياضيات •

خذ مثلا على ذلك مشكلة الأعداد الأولية (prime number) انها الأعداد التى لا يمكن تحليلها فى صورة حاصل ضرب عددين أو أكثر ولذا تسمى بالأعداد الأولية مثل ١ ، ٥ ، ٧ ••• ، بينما يعتبر العدد ١٢ مثلا عدد غير أولى اذ يمكن تحليله هكذا : ٣ × ٢ × ٢ •

هل الأعداد الأولية لا نهائية أم أنها تنتهى عند عدد معين يمكن بعده أن نحصل على عدد أولى من حاصل ضرب رقمين أو أكثر ؟ كان أول من اقتحم هذه المشكلة « اقليدس » وقد قدم دليلا غاية فى البساطة والذكاء على أن الأعداد الأولية تمضى بغير حدود بحيث لا يوجد ما يمكن تسميته ب « أكبر الأعداد الأولية » •

وحتى يمكن مناقشة هذا السؤال افترض ولو لدقيقة أن الأعـــداد الأولية محدودة ، وافرض أن هناك رقما هو أكبر هذه الأعداد ولنرمز اليه بالرمز ن • والآن اضرب كافة الأعداد الأولية المعروفة لدينا ثم أضـــف عليها واحد ، ويمكن كتابة هذا المقدار كالتالى :

(١ × ٢ × ٥ × ٧ × ١١ × ١٣ × ••••• × ن) + ١

وهذا المقدار يعتبر بالطبع أكبر من « أكبر الأعداد الأولية » المفترض ويتضح لنا مع ذلك أن هذا الرقم لا يقبـــل القسمة على أى عدد أولى ــ بما فى ذلك الرقم (ن) ــ ذلك أنه من مكونات هذا الرقم فواضح أن قسمته على أى عدد أولى سوف يتبقى عنها رقم (١) •

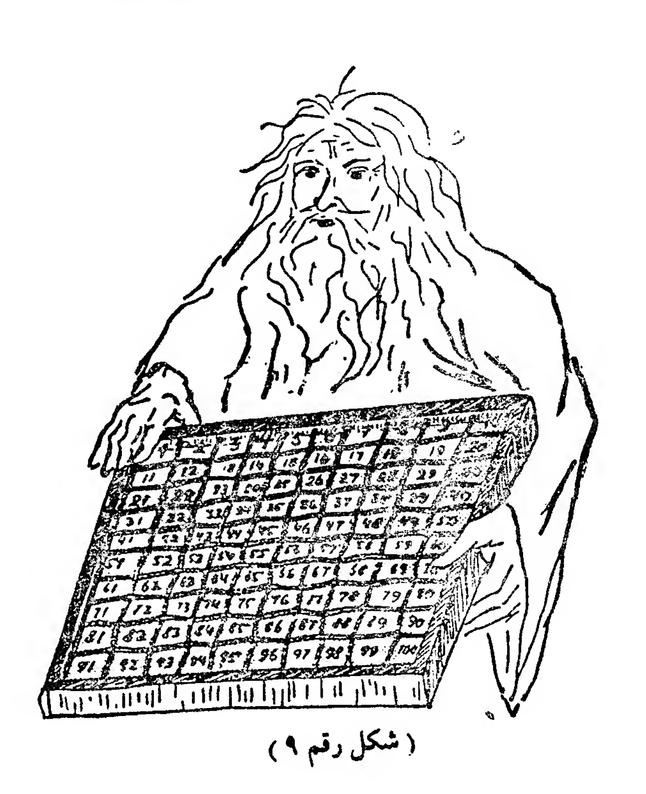
اذن فاما أن يكون هذا العدد عددا أوليا هو نفسه أو أن يكون قابلا للقسمة على عـــدد أكبر من (ن) • وكلا الحالتين تتعارضان مع الفرض الأساسى الذى ينص على أن (ن) هى أكبر الأعداد الأولية الموجودة :

ينتمى هـذا البرهان الى أسـلوب « نقض النقيض » (reductio-ad absurdum) الذى يعده علماء الرياضيات من أفضل أنواع البراهين •

وطالما علمنا أن عدد الأعداد الأولية لا نهائى ، بقى أن نسـأل أنفسنا عما اذا كانت هناك طريقة مبسطة لادراج هذه الأعداد فى قائمة على التوالى دون أن يغيب عنها عدد واحد • كان أول من اقترح هـذه الطريقة الفيلسوف الاغريقى وعالم الرياضيات القديم « ايراتوسثنيس » Eratosthenes وهى الطريقة المعروفة عادة « بالغربال » • وما عليك الا أن تكتب الأعداد الصحيحة integers بالترتيب :

١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ••• الخ

ثم تقوم بحذف مضاعفات العدد (٢) ، ثم الباقى من مضـاعفات العدد (٣) ثم مضاعفات العدد (٥) وهكذا • ويوضح شكل (٩) « غربال



(شكل رقم ٩)

ايراتوسثنيس » للمائة عدد الأولى ، وهو يتضمن ستة وعشرين عـــددا أوليا ، وباستعمال طريقة الغربلة السابق ايضاحها يمكن الحصول على جدول الأعداد الأولية حتى مليار ٠

ومع ذلك فقد يكون من الأفضل والأبسط أن نصمم طريقة يمكن من خلالها الوقوف بسرعة وبطريقة أتوماتيكية على الأعداد الأولية كلهـا دون أن نهمل واحدا منها ٠ على أن مثل هذه الصيغة غير موجودة بالرغم من المحاولات التى جرت على مدار القرون ٠ ففى عام ١٦٤٠ ظن العـــالم الفرنسى الرياضى الشهير « فيرما » (Fermat) أنه قد توصل الى **قانون** نحصل منه على جميع الأعداد الأولية ، وتدل (ن) فى قانونه الذى وضعه على صورة $٢^{٢^{ن}}$ + ١ الى القيم المتتابعة ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ٠٠٠ الخ **وبالتعويض فى هذا القانون نحصل على ما يلى :**

$$٢^{٢} + ١ = ٥$$

$$٢^{٢^{٢}} + ١ = ١٧$$

$$٢^{٢^{٣}} + ١ = ٢٥٧$$

$$٢^{٢^{٤}} + ١ = ٦٥٥٣٧$$

والحقيقة أن **كل هذه القيم أولية** ، ولكن بعد حوالى قرن من اكتشاف « فيرما » ، أوضح « أويلر » (Euler) العالم الرياضى الألمانى أن القيمة الخامسة فى هذا القانون ($٢^{٢^{٥}}$ + ١) التى تعطى الرقم ٤ر٢٩٤ر٩٦٧ر٢٩٧ ليست قيمة أولية ، ولكنها حاصل ضرب ٤١٧ر٧٠٠ر٦ × ٦٤١ ٠ وهكذا أثبت أن قاعدة « فيرما » لحساب الأعداد الأولية قاعدة خاطئة وهناك قاعدة أخرى تمكننا من الحصـــــول على عدد كبير من القيم الأوليـــة وهى :

$$(ن)^{٢} - ن + ٤١$$

و ن هنا تعبر أيضا عن القيم ١ ، ٢ ، ٣ ٠٠ الخ ، وقد ظهر أنه عندما ترمز ن الى قيم تتراوح من ١ الى ٤٠ ، تكون القاعدة الســـابقة صحيحة ، ولكن من سوء الحظ أن هذه القاعدة تفشل عند ن = ٤١ فالحقيقة أى $(٤١)^{٢} - ٤١ + ٤١ = ٤١^{٢} = ٤١ \times ٤١$ ٠

وهى مربع رقم (٤١) وليست عددا أوليا ٠

وهناك محاولة أخرى أسفرت عن القانون الآتى :

$$(ن)^{٢} - ٧٩ ن + ١٦٠١$$

و ن تعطى أعدادا أولية حتى ن = ٧٩ ولكنها لا تنطبق عند ن = ٨٠

وهكذا ظلت مشكلة صياغة قانون عام للحصول على الأعداد الأولية فقط لغزا يبحث عن حل .

ومن بين محاولات التنظير المشوقة والتى لم يثبت نجاحها أو فشلها تلك التى يطلق عليها ، فرضية « جولدباخ » Gold bach ، **وقد ظهرت** عام ١٧٤٢ وتنص على أن **كل عدد زوجى يمكن التعبير عنه فى صورة مجموع عددين أوليين** ، ويمكنك بسهولة أن تتأكد من صحتها عند تطبيقها على أمثلة مبسطة مثل : ١٢ = ٥ + ٧ ، ٢٤ = ٧ + ١٧ ، ٣٢ = ٣ + ٢٩ . وعلى الرغم من ضخامة المحاولات التى أجراها العلماء فى هذا المجال فقد فشلوا فى التوصل الى نتيجة نهائية تثبت صحة هذه القاعدة من عدمه . وفى عام ١٩٣١ نجح الرياضى الروسى « شنيرلمان » (Schnirelman) فى أن يخطو أول خطوة بناءة نحو البرهان المطلوب ، **فقد نجح فى اثبات أن كل عدد زوجى هو مجمـــــوع ما لا يزيد عن ٣٠٠٫٠٠٠ عدد أولى** ، وبعد ذلك ضاقت الفجوة بين قانون شنيرلمان « لمجموع ٣٠٠٫٠٠٠ عدد أولى » والبرهان المطلوب بالنسبة « لمجموع عددين أوليين » على يد الرياضى الروسى « فينوجرادوف Vinogradoff » حيث نجح فى انتقاصها الى « أربعة أعداد أولية » ، ولكن يبدو أن الخطوة الأخيرة للتقريب بين فينوجرادوف وجولدباخ ، أى « مجموع أربعة أعداد أولية » و « مجموع عددين أوليين » هى أعقد الخطورات وأصعبها ، وليس فى مقدور أحد أن يتنبـــأ بالزمن اللازم لحلها سواء كان بضعة أعوام أم بضعة قرون .

اذا فنحن بعيدون جدا ، على ما يبدو ، عن صياغة قانون عام يغطى كافة الأعداد الأولية تلقائيا مهما كانت ضخامة هذا العدد كما أنه لا يوجد ما يبشر بقرب صياغته ..

ودعنا نطرح تساؤلا أكثر تواضعا ، عن النسبة المئـــوية للأعداد الأولية فى أى فئة عددية ، هل تبقى النسبة ثابتة تقريبا بغض النظر عن زيادة الأعداد ؟ وان لم يكن فهل تزيد أم تنقص ؟ وبامكاننا الاجابة عن ذلك عمليا باحصاء الأعداد الأولية فى الجدول التالى ، وسنجد أن هناك ٢٦ عددا أوليا فى الفئة من ١ ـــ ١٠٠ و ١٦٨ فى الفئة من ١ ـــ ١٠٠٠ و ٧٨٤٩٨ عددا أوليا فى الفئة من ١ ـــ ١٫٠٠٠٫٠٠٠ وهكذا ..

كما نرى فى الجدول ، وبقسمة هذه الأعداد الأولية على ما يقابلها من فئات عددية نحصل على الجدول الآتى :

الفئة ١ ـــ ن	الأعداد الأولية	النسبة	١ لو ن	النسبة المئوية للانحراف ٪
١ ـ ١٠٠	٢٦	٠ر٢٦٠	٠ر٢١٧	٢٠
١ ـ ١٠٠٠	١٦٨	٠ر١٦٨	ر١٤٥	١٦
١ ـ $١٠^{٦}$	٧٨ر٤٩٨	٠ر٠٧٨٤٩٨	٠ر٠٧٢٣٨٢	٥
١ ـ $١٠^{٩}$	٥٠ر٨٤٧ر٤٧٨	٠ر٠٥٠٨٤٧٤٧٨	٠ر٠٤٨٢٥٤٩٤٢	٨

هذا الجدول يوضح أولا أن العدد النسبى للقيم الأوليـــة يتناقص بالتدريج ، مع الزيادة فى الأعداد الصحيحة ، ولكن ليس هناك حد تنعدم بعده القيم الأولية تماما ٠

هل هناك صيغة رياضية مبسطة تعبر عن هذه النسبة المتناقصـة للأعداد الأولية الموجودة فى الفئات الضخمة ؟ نعم ، وتعد القوانين التى تشير الى متوسط توزيع الأعداد الأولية من بين أهم الاكتشافات فى علم الرياضيات بأكمله ، وهى تنص على أن **النسبة المئوية للأعداد الأولية فى فئة عددية لأى عدد أكبر (ن) يعبر عنها تقريبا باللوغاريتم الطبيعى لـ ن** [١] وكلمات زادت (ن) كلما كانت النسبة أكثر قربا من القيمة الحقيقية ٠

وانظر العمود الرابع فى الجدول السابق (اللوغاريتم الطبيعى) ثم قارن بينه وبين القيم فى العمود الثالث فتجد تقاربا شديدا ولا ســـيما عند زيادة (ن) ٠

وكما فى الكثير من فروض نظرية الأعداد ، نجد أن نظرية الأعـداد الأولية السابق ايضاحها ، من النظريات التى ثبتت عن طريق التطبيق وظلت لفترة طويلة تفتقر الى برهان رياضى محدد ٠ ولم ينجح فى التوصل الى البرهان الا العالمان الرياضـــيان « هادمار » Hadmard الفرنسى والبلجيكى « دو لافالى بوسان » (de la Vallée Poussin وذلك فى أواخر القرن الماضى ، باستخدام أسلوب غاية فى التعقيد والصعوبة بحيث يتعذر شرحه هنا ٠

---

(١) يمكن تعريف اللوغاريتم الطبيعى ، بطريقة مبسطة ، بانه اللوغاريتم العـــادى فى الجدول مضروبا فى المعامل ٢ر٣٠٢٦ ٠

ولا يفوتنا قبل أن نغلق باب مناقشة الأعداد الصحيحة · أن نشير الى نظرية « فيرما » الشهيرة ، التى تصلح مثالا يوضح لنا المشكلات التى لا تتصل بالضرورة بخواص الأعداد الأولية ، وتمتد جذور هذه المشكلة الى مصر القديمة ، حيث كان كل نجار ماهر يعرف أن أى مثلث النسبة بين أضلاعه ٣ : ٤ : ٥ لابد وأن يحتوى على زاوية قائمة وقد استخدم قدماء المصريين هــذا المثلث كأداة للقيـــاس وهو معروف حتى الآن بالمثلث المصرى (٢) ·

وفى القرن الثالث الميلادى تساءل « ديوفانتس » (Diophantes) السكندرى عما اذا كان العددان ٣ ، ٤ هما وحدهما العددان الصحيحان اللذان يساوى مجموع مربعهما مربع رقم ثالث . ونجح فى اثبات وجود ثلاثيات أخرى مشابهة (والواقع أن عددها لا نهاية له) · كمـــا نجح فى صياغة قاعدة لها وتعرف هذه المثلثـــات الآن بمثلثات فيثـــاغورث Pythagorean triangles (أعداد صحيحة فقط) وكان أول ما عرف منها المثلث المصرى · ويمكن صياغة معادلة لها بسهولة باستخدام رموز مثل **س ، ى ، ز كأعداد** صحيحة (٣) ·

حيث $س^٢ + ى^٢ = ز^٢$

---

(٢) عادة تدرس نظرية فيثاغورث لتلاميذ المرحلة الابتدائية على الصورة :

$$٣^٢ + ٤^٢ = ٥^٢$$

(٣) لتطبيق قانون ديوفانتيس خذ أى رقمين أ ، ب بشرط أن يكون ٢ أ ب مربعا كاملا ، ثم اجعل $س = أ + \sqrt{٢ أ ب}$ ، وارمز ب ى بحيث $= ب + \sqrt{٢ أ ب}$ ، والرمز $ز = أ + ب + \sqrt{٢ أ ب}$ ·

∴ $س^٢ + ى^٢ = ز^٢$ ويسهل اثبات ذلك بالجبر البسيط وبناء عليه ضــع الجدول التالى لكافة الحلول الممكنة :

$$٣^٢ + ٤^٢ = ٥^٢$$
$$٥^٢ + ١٢^٢ = ١٣^٢$$
$$٦^٢ + ٨^٢ = ١٠^٢$$
$$٧^٢ + ٢٤^٢ = ٢٥^٢$$
$$٨^٢ + ١٥^٢ = ١٧^٢$$
$$٩^٢ + ١٢^٢ = ١٥^٢$$
$$٩^٢ + ٤٠^٢ = ٤١^٢$$
$$١٠^٢ + ٢٤^٢ = ٢٦^٢$$

وفى عام ١٦٢١ ، اشــترى « بيير فيرما » نســخة من الترجمة الفرنسية الجديدة لكتاب ديوفانتس (الرياضيات) والذى ناقش فيه مثلث « فيثاغورث » ٠ وعندما قرأه ، كتب ملاحظة صغيرة فى الهامش : حيث ان المعادلة $س^{٢} + ى^{٢} = ز^{٢}$ يمكن حلها باستخدام عدد لا نهائى من حلول الأعداد الصحيحة ، **فان أى معادلة على الشكل :**

$$س^{ن} + ى^{ن} + ز^{ن}$$

حيث ن عدد أكبر من ٢ ، لا حل لها على الاطلاق ٠

وأضاف فيرما قائلا « لقد اكتشفت برهانا عجيبا حقا ، ولكن هذا الهامش يضيق عنه » ٠

وعندما توفى « فيرما » اكتشف كتاب « ديوفانتس » فى مكتبته ، وأصبح ما كتبه فى الهامش معروفا للعالم أجمع ، وقد حدث هذا منذ ثلاثة قرون ، ومنذ ذلك الحين والعلماء يحاولون معرفة البرهان الذى جال بخاطر « فيرما » وهو يكتب ملاحظته ، ولكنهم عجزوا عن ذلك حتى الآن ٠ ومن المؤكد أنه قد حدث تقدم ملموس نحو الهدف النهائى ، بل ان هذه المحاولات قد أدت الى ظهور فرع جديد فى عالم الرياضيات وهو ما يعرف ب « نظرية الأعداد المثالية » theory of ideals عند البحث عن برهان لنظرية فيرما ، وقد بين أويلر استحالة التوصل الى حل صحيح للمعادلة $س^{٣} + ى^{٣} = ز^{٣}$ والمعادلة $س^{٤} + ى^{٤} = ز^{٤}$ ٠ وبرهن « دريشـــلت » (Dirichlet) على نفس الشىء بالنســبة للمعادلة $س^{٥} + ى^{٥} = ز^{٥}$ ٠ ومن خلال الجهود المجمعة التى بذلها العديد من الرياضيين ، أصبح بمقدورنا الآن أن نؤكد أنه لا يوجد حل لمعادلة فيرما ، فى حالة ن أقل من ٢٦٩ ٠ ومع ذلك فلا نزال مفتقرين الى برهان عام لمعادلة فيرما حينما تكون «ن» مساوية لأى قيمة صحيحة ، والشك متزايد فى أن يكون هو نفسه قد توصل الى برهان ، أو أخطأ فى ذلك ٠ وقد ذاعت هذه المشكلة عنــدما أعلن عن جائزة قدرها مائة ألف مارك ألمانى لمن يحلها ، وعلى الرغم من ذلك فشلت جهود كافة الباحثين عن المال من الهواة فى التوصل الى الحل ٠

ويبقى بالطبع احتمال خطأ هذه النظرية ، كما أنه من المحتمل أن نجد مثالا يكون فيه عددين مرفوعين « لأس » عال من الأعداد الصحيحة مساويا لنفس الأس لعدد صحيح ثالث ، ولكن لما كان البحث عن هذا المثال التعويض بأعداد لا تقل عن ٢٦٩ فان هذا الأمر يعتبر أمرا عسيرا ٠

٢ ـ الجذر الغامض $\sqrt{-1}$

والآن دعونا نجرب نوعا من الرياضيات العليا : ان رقم اثنين مضروبا فى نفسه يساوى أربعة ، ورقم ثلاثة مضروبا فى نفسه يساوى ٩ ، وأربعة

فى أربعة تساوى ١٦ ، وخمسة مكررة خمس مرات تساوى خمسة وعشرين • اذن فالجذر التربيعى لأربعة هو اثنان ، والجذر التربيعى لتسعة هو ثلاثة ، والجذر التربيعى لرقم ١٦ هو أربعة ، والجذر التربيعى لخمسة وعشرين هو خمسة (٤) •

والآن ما الحل عندما يتعلق الأمر بالجذر التربيعى لعدد سالب ؟ وهل تعنى مقادير مثل $\sqrt{-٥}$ ، $\sqrt{-١}$ أى معنى ؟ •

اذا نظرنا لهذه المسألة منطقيا فسرعان ما نوقن بأن لا معنى لها على الاطلاق • وكما قال « براهمن بسكار » (Brahmin Bhaskara) عالم الرياضيات الذى عاش فى القرن الثانى عشر « ان مربع العدد الموجب ، والسالب أيضا لابد أن يكون موجبا ، وبناء عليه فان الجذر التربيعى لأى عدد موجب له حلان موجب وسالب • ولا يمكن أن يكون هناك جذر تربيعى لعدد سالب لأن العدد السالب ليس مربعا » •

ولكن العناد من شيمة علماء الرياضيات ، فكلما استعصى عليهم شىء ، وتكرر ظهوره بذلوا جهدا أشد فى محاولة تفسيره ، ولا شك أن هناك جذورا تربيعية لأعداد سالبة كثيرا ما تظهر سواء فى المسائل الحسابية السيطة ، أو فى معضلة القرن العشرين وهى توحيد الزمن والفراغ فى اطار نظرية النسبية والزمن لأينشتين •

وفى القرن السادس عشر كان العالم الايطالى الجرىء « كاردان » (Cardan) أول من وضع صيغة تحتوى على جذر تربيعى سالب ، وكان يبدو آنذاك شيئا بلا معنى • فعندما تناول كاردان مسألة تحليل العدد ١٠ الى مقدارين حاصل ضربهما = ٤٠ ، أشار الى أن هناك حلا لها ، وان كان غير منطقى ، ثم استخدم تعبيرين رياضيين مستحيلين هما :

$٥ + \sqrt{-١٥}$ ، $٥ - \sqrt{-١٥}$ (٥) •

---

(٤) يسهل أيضا الحصول على الجذر التربيعى لعدد آخر من الأرقام ، فمثلا :

$\sqrt{٥}$ = ٢ر٢٣٦٠٠ وذلك لأن (٢ر٢٣٦٠٠٠) × (٢ر٢٣٦٠٠٠) = ٥ر٠٠٠ تقريبا

و $\sqrt{٧ر٣}$ = ٢ر٧٠٢٠٠٠ وذلك لأن (٢ر٧٠٢٠٠٠) × (٢ر٧٠٢٠٠٠) = ٧ر٢٠٠٠ تقريبا

(٥) والبرهان هو :

$$(٥ + \sqrt{-١٥}) + (٥ - \sqrt{-١٥}) = ٥ + ٥ = ١٠$$

، $$(٥ + \sqrt{-١٥}) \times (٥ - \sqrt{-١٥}) = (٥ \times ٥) + ٥\sqrt{-١٥} - ٥\sqrt{-١٥} - (\sqrt{-١٥} \times \sqrt{-١٥}) = (٥ \times ٥) - (-١٥)$$

$$= ٢٥ + ١٥ = ٤٠$$

وقد كتب كاردان هذه السطور فى حياء وذكر أنها غير منطقية ولكنه كتبها وكفى ·

فاذا واتتك الشجاعة اللازمة لكتابة جذر تربيعى سالب كما سبق لاستطعت حل هذه المسألة كما فعل كاردان ··

وما أن تم كسر الجمود الذى أحاط بهذه المشكلة (مشـــكلة الجذر التربيعى لمقدار سالب ، أو مقدار تخيلى كما كان يصفه « كاردان » حتى استخدم مختلف الرياضيين هذا المقـــدار مرارا وتكرارا ، مع كثير من التحفظات والمبررات اللازمة · ونجد في أحد كتب الجبر للرياضى السويسرى « ليونار أويلر » (عام ١٧٧٠) عددا كبيرا من التطبيقات على الأعـداد التخيلية ، الا أنها مذيلة بما يشبه الاعتذار فى تعليق يقول « ان كافة التعبيرات ، مثل $\sqrt{-1}$ ، $\sqrt{-2}$ الخ ·· هى أرقام مستحيلة أو تخيلية ، ذلك أنها تمثل جذورا لكميات سالبة ، وعن هذه الأعداد يمكننا أن نقول بحق أنها لا شيء ، لا أكثر ولا أقل ، مما يجعل منها بالضرورة ضربا من الخيال أو المستحيل » ·

ولكن على الرغم من كل هذه الاستخدامات الخاطئة ، وما التمسوه من مبررات ، فسرعان ما أصبحت الأعداد التخيلية واقعا لا مفر منه ، فى الرياضيات كالكسور والجذور تماما ، وأصبح من المؤكد عمليا أن تجاهلها يقف حائلا دون الوصول لأى نتيجة ·

واذا صح التعبير نستطيع أن نقول أن عائلة الأعداد التخيلية تمثل انعكاسا للأعداد الحقيقية أو الاعتيادية على مرآة خيالية ، وبنفس الطريقة التى يمكن للمرء بها أن يرتب كافة الأعداد الحقيقية مبتدئا بالرقم الأساسى (١) ، يمكنه أيضا أن يرتب الأعداد الخيالية مبتدئا بالوحدة التخيلية الأولى منها وهى $\sqrt{-1}$ والتى يرمز اليها عادة بالرمز ت ·

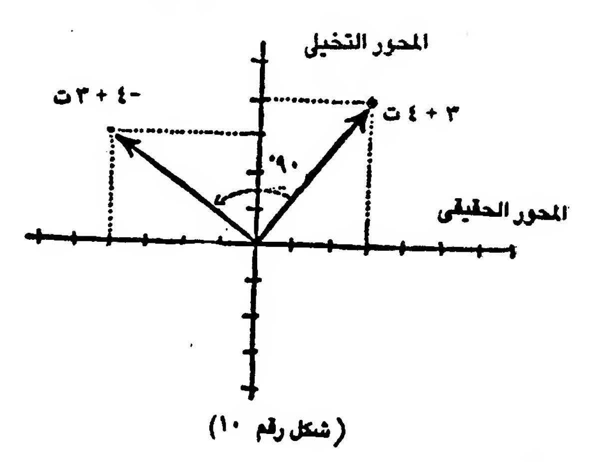
ومن السهل أن نرى أن $\sqrt{-9} = \sqrt{9} \times \sqrt{-1} = 3$ ت ؛ $\sqrt{-7} = \sqrt{7} \times \sqrt{-1} = 2{,}646$ ت ··· الخ ، وهكذا نجد لكل عدد اعتيادى قرينا فى الأعداد التخيلية · ويمكن لنا أيضا أن نقرن بين الأعداد الاعتيـــادية والخيالية فى صيغة واحدة مثل $5 + \sqrt{-15} = 5 +$ ت $\sqrt{15}$ ، تماما كما فعل « كاردان » لأول مرة · وتعرف هذه الأرقام المهجنة بالأعداد المركبة . (Complex numbers) وقد ظلت الأعداد التخيلية بعد دخولها الى مجال الرياضيات مغلفة بنوع من الغموض استمر لما يزيد عن قرنين من الزمان ،

حتى استطاع اثنان من هواة علم الرياضيات اعطاءها تفسيرا هندسيا فى بحث قام به « مساح » نرويجى هو « فسيل » (Wessel) ومحاسب فرنسى هو « روبير أرجان » Robert Argand ولايضاح فكرتهما نأخذ المقدار ٣ + ٤ ت كمثال ، وهذا المقدار يمكن التعبير عنه كما فى شكل (١٠) حيث ٣ هى المقابل للاحداثى الأفقى و ٤ للبعد أو الاحداثى الرأسى ·

والحقيقة أن كافة الأعداد الحقيقية العادية (موجبة أو سالبة) يمكن التعبير عنها بنقاط على المحور الأفقى ، بينما يعبر عن الأعداد التخيلية تماما بنقاط على المحور الرأسى · وعند ضرب عدد حقيقى وليكن (٣) عندما يمثل بنقطة على المحور الأفقى ، فى وحدة تخيلية ولتكن (ت) نحصل على عدد تخيلى تماما وهو ٣ (ت) ، وهذا المقدار لا شك وأنه يتحدد على المحور الرأسى ، وعلى ذلك فان ضرب أى مقدار فى ت يناظر هندسيا الدوران عكس عقارب الساعة بزاوية قائمة (انظر شكل ١٠)

والآن اذا ضربنا ٣ ت مرة أخرى فى ت فسوف يحدث دوران آخر مقداره ٩٠ درجة ، وبذلك تعود النقطة الناتجة مرة أخرى الى المحور الأفقى ولكنها تكون فى الجانب السالب هذه المرة :

اذن ٣ ت × ت = ٣ ت^{٢} = ـ٣ أو ت^{٢} = ـ١



(شكل رقم ١٠)

ويكون من المفهوم ان نقول « ان مربع ت يساوى ـ ١ » بدلا من أن نقول « ان الدوران مرتين بزاوية قائمة فى كل مرة (كلاهما عكس حركة عقارب الساعة) يجعلك فى الاتجاه المقابل » ·

وتنطبق نفس القاعدة بالطبع على الأعداد المركبة المهجنة · فبضرب ٣ + ٤ ت فى ت نحصل على ما يلى :

(٣ + ٤ ت) ت = ٣ ت + ٤ت^{٢} = ٣ ت ـ ٤ = ـ ٤ + ٣ ت

وكما يتضح لنا من شكل (١٠) ، فان النقطة (ـ ٤ + ٣ ت) تناظر النقطة ٣ + ٤ ت مقلوبة عكس اتجاه عقارب الساعة بمقـدار ٩٠ درجة حول نقطة الأصل ، وبالمثل نجد أن الضرب فى ـ (ت) لا يزيد عن كونه دورانا فى اتجاه عقارب الساعة حـــول نقطة الأصل كمـا يظهر من شكل (١٠) واذا كنت لا تزال شاعرا بســـتار من الغموض يكتنف الأعداد التخيلية فربما أزحت هذا الستار بالتطبيق العملى على مشـــكلة رياضية بسيطة •

يحكى أن شابا عثر فى تراث أجداده القدماء على مخطوطة تبين مكان كنز دفين وجاء فيها :

« ابحر الى خط عرض ••• وخط طول •••• ، وســتجد جزيرة مهجورة عند شاطئها الشمالى مرعى واسع (٦) بلا سور وبه شجرة وحيدة من البلوط وأخرى من الصنوبر • وستجد أيضا مشنقة كنا قد نصبناها لاعدام الخونة فابدأ السير من عندها متجها الى شجرة (٧) البلوط ، وعد خطواتك حتى اذا وصلت اليها در الى اليمين ٩٠° وسر عددا مماثلا من الخطوات ثم ضع وتدا عندما تقف وثبته فى الأرض • والآن عد الى المشنقة ثم سر الى شجرة الصنوبر على أن تعد الخطوات وعندما تصل اليها استدر يسارا بزاوية قائمة وتأكد من سيرك عددا مماثلا من الخطوات ، ودق وتدا آخر على الأرض ، ابدأ الحفر فى منتصف المسافة بين الوتدين ، وستجد الكنز » •

لقد كانت التعليمات واضحة تماما ولا لبس فيها ، ولذا استأجر صاحبنا مركبا وأبحر الى الجنوب ، ووجد الجزيرة ، والحقـــل وشجرة البلوط ، وشجرة الصنوبر ولكن للأسف الشديد كانت المشنقة قد اختفت فقد كانت الوثيقة مكتوبة منذ عهد بعيد جـــدا حتى أن الرياح والمطر والشمس قد حللت الخشب وأعادته الى التربة دون أن يترك أثرا حتى للمكان الذى كان فيه •

وأصاب اليأس مغامرنا الشاب ، ثم بدأ فى غضـــب جارف يحفر عشوائيا فى كل الحقل ، ولكن عبثا يحاول ، فقد كانت الجزيرة مترامية الأطراف ! •

ولذا عاد بخفى حنين ، وربما كان الكنز لا يزال قابعا هناك •

انها قصة مؤسفة ، ولكن أسفنا سيزداد اذا علمنا أن هذا الشاب

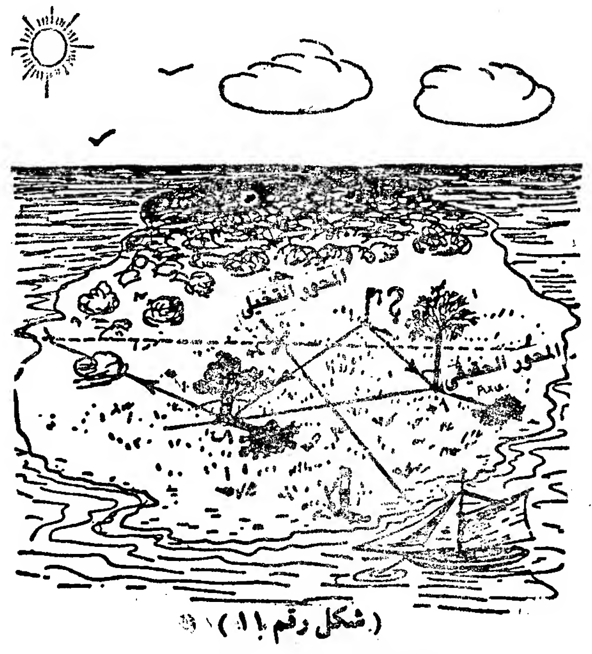
---

(٦) ذكرت المخطوطة رقم خط الطول ، وخط العرض ولكننا حذفناهما هنا حفاظا على السر •

(٧) لقد غيرنا اسمى الشجرتين لنفس السبب • والواقع أن هذه الجزيرة الاستوائية لابد وأن تنبت فيها أشجار من أنواع أخرى •

كان بامكانه أن يعثر على الكنز ، لو كان لديه قدر محدود من العلم بالرياضيات ولا سيما **بالأعداد التخيلية** • ودعنا نرى اذا ما كان بامكاننا أن نعثر له على الكنز ، بالرغم من أن الأوان قد فات لينتفع **بذلك** •

تخيل أن الجزيرة سطحا مستويا للأعداد المركبة ، وافرض أن الخط المستقيم الواصل بين الشجرتين هو أحد المحورين وليكن المحور الحقيقى ، والمستقيم العمودى المنصف له هو (محور الأعداد التخيلية) (شكل ١١) • وبأخذ نصف المسافة بين الشجرتين كوحدة قياس للأبعاد



(شكل رقم ١١)

البحث عن الكنز بالأعداد التخيلية •

يمكن القول ان شجرة البلوط تقع على النقطة (— ١) على المحور الحقيقى وأن شجرة الصنوبر تقع على النقطة (+ ١) على نفس المحور • ونحن لا نعرف المكان الذى كانت المشنقة موجودة به وبناء عليه سنحدد لها موقعا فرضيا ونرمز اليه بالحرف الاغريقى Γ (حرف جاما كبير) وهو يشبه المشنقة فى شكله • ولما كانت المشنقة لا تقع بالضرورة على أحد المحورين فيمكننا اعتبار Γ عددا مركبا :

∴ Γ = أ + ب ت والشكل رقم (١١) يوضح المقصود بالحرفين أ ، ب والآن لنقم ببعض العمليات الحسابية البسيطة واضعين فى أذهاننا الضرب التخيلى كما ذكرناه آنفا • فاذا كانت المشنقة عند Γ وشجرة البلوط عند (— ١) فان الفرق فى المسافة والاتجاه بين المشنقة

وشجرة البلوط = (− ١) −> = − (١ + Γ) وبالمثل فان الفرق في المسافة والاتجاه بين المشنقة وشجرة الصـــــنوبر يرمز اليه بالرمز ١ −> • وعند ادارة هذين البعدين بزاوية قائمة فى اتجـــاه عقارب الساعة (يمينا) والعكس (يسارا) ينبغى طبقا للقاعدة ضربهما فى − ت ، ت وبذلك نستطيع تحديد الموضع الذى يجب دق الوتد فيه :

موضـــــــع الوتـــد الأول (− ت) [− (١ + Γ)] + ١ = ت (١ + Γ) − ١

موضــــــــع الوتـــــــد الثانى (+ ت) (١ − Γ) − ١ = ت (١ − Γ) + ١

وحيث ان الكنز مدفون فى منتصف المسافة بينهما فيجب ايجاد نصف مجموع العددين المركبين السابق ذكرهما :

∴ ½ [ت (١ + Γ) + ١ + ت (١ − Γ) − ١]

= ½ [+ ت Γ + ت + ١ + ت − ت Γ − ١]

= ½ (+ ٢ ت) = + ت

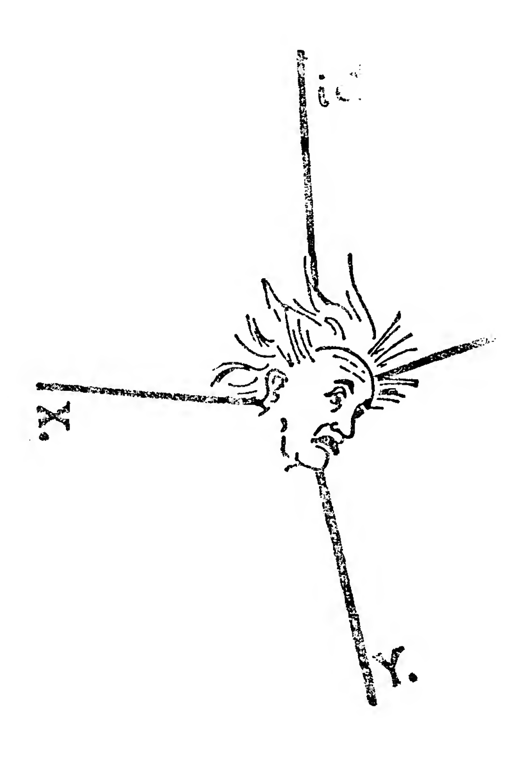
وهكذا نجد أن موضع المشنقة المشار له بالحرف Γ يقع فى موضع ما على الطريق ، وبامكاننا الآن بغض النظر عن موقع المشنقة أن نحدد مكان الكنز عند النقطة + ت •

نحدد مكان الكنز عند النقطة + ت •

ادن لو كان بمقدور صاحبنا المغامر الشاب أن يجرى هذه العمليات الحسابية البسيطة لما احتاج الى حفر الحقل بأكمله ، بل كان فى استطاعته أن يبحث عن الكنز فى النقطة المشار اليها بخطين متقاطعين (×) فى شكل (١١) ولعثر عليه هناك •

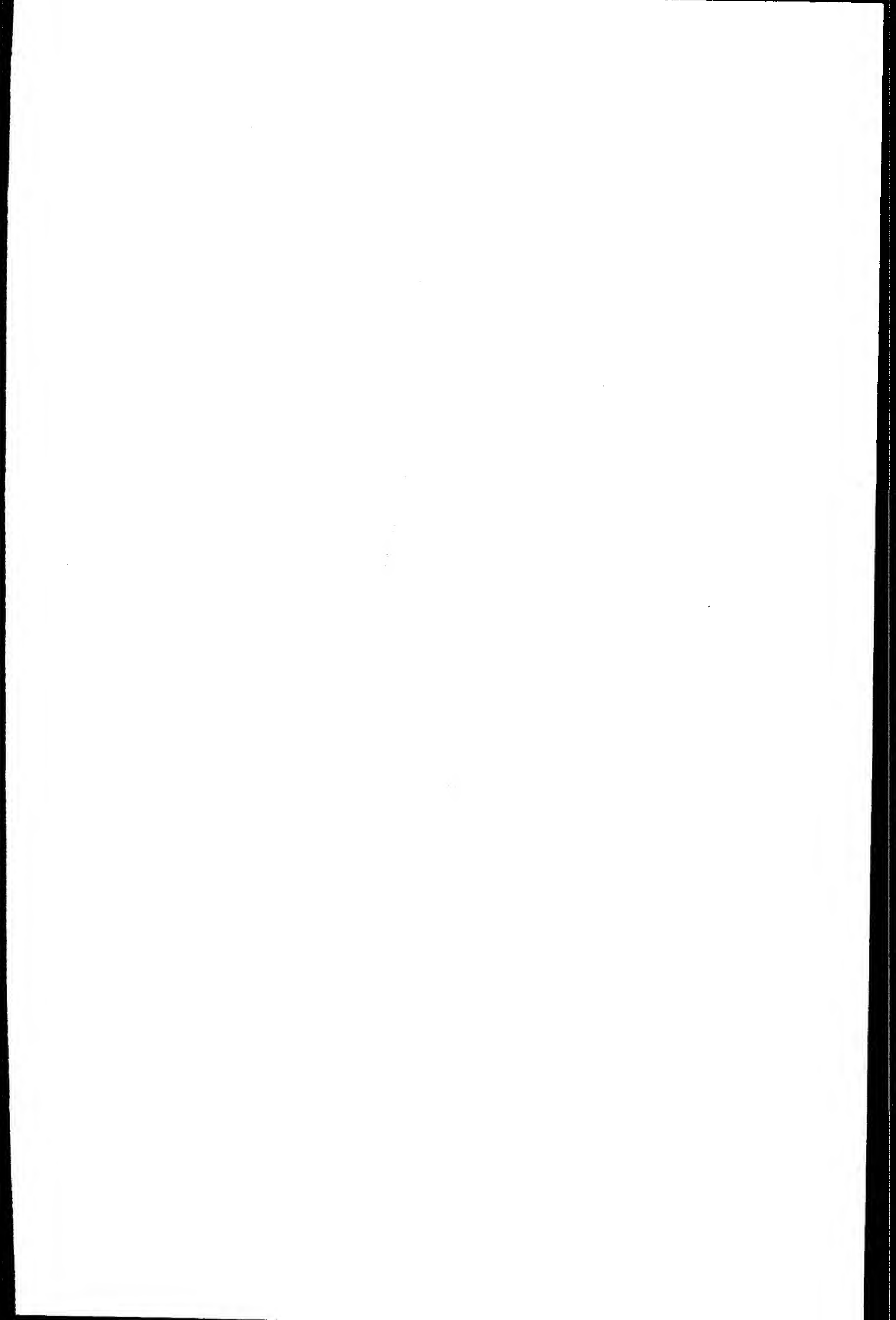
واذا كنت لا تزال فى شك من أن موضع المشـــنقة ليس ضروريا اطلاقا للعثور على الكنز ، أحضر ورقة وضع علامتين مكان الشـــجرتين وحاول أن تنفذ التعليمات التى نصت عليها الرسالة المخطوطة بافتراض مواضع متعددة للمشنقة • وسوف تجد أن مكان الكنز لن يختلف فى النهاية عن رقم (+ ت) على المستوى (السطح) المركب ! •

وهناك كنز آخر يرجع الفضـــل فى اكتشافه الى الجـــذر التربيعى للعدد (− ١) وهو الاكتشاف المذهل الذى مؤداه أن فضـــــاءنا العادى الثلاثى الأبعاد يمكن دمج الزمن معه فى صورة رباعية الأبعاد ، وتخضع هذه الصورة لقواعد الهندسة رباعية الأبعاد • وسوف نعـــود الى هذا الاكتشاف مرة أخرى فى أحد فصول الكتاب التالية حيث نناقش أفكار « ألبرت أينشتين » ونظريته المعروفة بالنسبية •



الجزء الثانى

الفضاء والزمن وأينشتين



الفصل الثالث

الغواص غير العادية للفضاء (*)

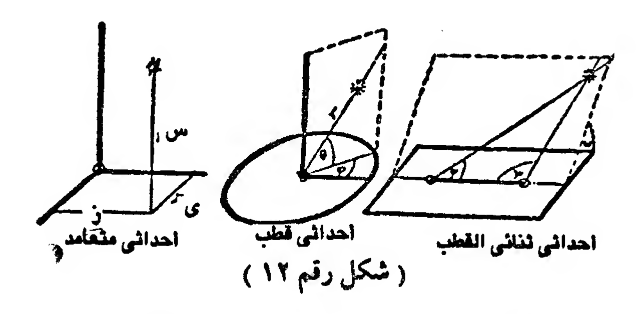
١ ـ الأبعاد والاحداثيات :

كلنا يعلم ما هو الفضاء ، على أننا نقع فى حرج اذا طلب منا وضع تعريف دقيق له ، وربما قلنا أن الفضاء هو ما يحيط بنا ، ونستطيع أن نتحرك فيه الى الأمام أو الخلف ، والى اليمين أو اليسار والى أعلى أو أسفل ووجود هذه الاتجاهات الثلاثة متعامدة على بعضها هو من أهم خواص الفضاء الطبيعى الذى نعيش فيه ، فنحن نقول ان للفضاء ثلاثة أبعاد ، بالاستعانة بها يمكن تحديد أى موقع فيه • فاذا كنا فى زيارة لمدينة غريبة وسألنا شرطى المرور عن موقع شركة ما ، ربما قال « سر جنوبا وبعد خمس عمارات در يمينا وستجدها فى الدور السابع فى ثالث مبنى هناك » • وهذه الأرقام الثلاثة تعرف عادة بالاحداثيات (Co-ordinates) وهى فى هذه الحالة تشير الى العلاقة بين شوارع المدينة ، وطوابق المبنى بالنسبة الى نقطة الأصل عند شرطى المرور • ومن الواضح على أية حال أنه من الممكن تحديد الاتجاهات لنفس المكان من نقطة أصل أخرى ، باستخدام نظام الاحداثيات الذى يمكن أن يعبر بدقة عن العلاقة بين النقطة الأصلية الجديدة وغاية الوصول ، وان الاحداثيات الجديدة يمكن التعبير عنها باستخدام الاحداثيات القديمة

(★) تترجم كلمة Space بالمكان والفراغ والفضاء والحيز ، وقد فضلت استخدام كلمة فضاء هنا للتعبير عن جميع حالاتها المكانية لأن كلمة مكان المعتادة لا تعبر بدقة عن المعنى فى اللفظة الأصلية (المترجم) •

بالاستعانة باجراء رياضى مبسط بشرط معرفة الموقع النسبى للنظـــام الاحداثى الجديد بالنسبة للاحداثى القديم وتعرف هذه العملية **بتحـويل الاحداثيات** transformation of co-ordinates وربما أضفنا أيضا فى هذا السياق أنه ليس من الضرورى على الاطلاق أن نعبر عن الاحداثيات الثلاثة باستخدام أرقام للاشارة الى مسافات معينة ، بل فى الحقيقة من الأنسب فى بعض الحالات أن نلجأ الى اســـتخدام احداثيات الزوايا .

ولذا فان العناوين ، فى نيويورك مثلا ، تتحدد غالبا بنظم الاحداثيات المتعامدة التى تتمثل فى الشوارع والطرقات . بينما تتحدد العناوين فى موسكو (روسيا) وفقا لنظم الاحداثيات القطبية . فهذه المدينة العريقة نشأت حول الحصن المركزى للكرملين ، بنظم شوارع نصف قطرية متشعبة من المركز ، وبها شوارع على شكل دوائر مركزها واحد ، ولذا من الطبيعى عند وصف مكان فيها أن نقول : انه على بعد عشرين عمارة فى الاتجـاه الشمالى الغربى من سور الكرملين .



(شكل رقم ١٢)

الاحداثيات ثنائية القطبين والاحداثيات القطبية والاحداثيات المتعامدة

ومن الأمثلة النموذجية لنظم الاحداثيات المتعامدة والقطبية ، مبنى وزارة البحرية الأمريكية ، ومبنى وزارة الدفاع الأمريكية (البنتاجون) فى واشنطن (بمقاطعة كولومبيا) . وهى من المبانى المعروفة لكل من كانت له علاقة بالعمل الحربى أثناء الحرب العالمية الثانية .

فى شكل (١٢) هناك عدة أمثلة تبين كيفية تحديد موقع نقطة فى فضاء بطرق متعددة باستخدام ثلاثة احداثيات ، سواء كانت من المسافات أو الزوايا . ولكن أيا كان النظام الذى نختـاره فلابد من توافر ثلاث معلومات طالما أننا نتعامل مع فضاء ثلاثى الأبعاد .

وعلى الرغم من الصعوبة التى نواجهها (مع مفهومنا للفضاء الثلاثى الأبعاد) اذا ما حاولنا أن نتخيل فضاء أعظم يحتوى على أكثر من ثلاثة

أبعاد (بغض النظر عن أن هذا الفضاء موجود كما سنرى فيما بعد) فان محاولتنا لتخيل فضاء يحتوى على أقل من ثلاثة أبعاد تبدو أكثر سهولة لنا • فالسطح المستوى ، وسطح الجسم الكروى أو أى سطح آخر على سبيل المثال كلها فضاءات جزئية ثنائية الأبعاد ، طالما أن موضع أى نقطة على هذه السطوح يتحدد برقمين لا أكثر • وبالمثل فان الخط (منحنيا كان أو مستقيما) يعتبر فضاء جزئيا أحادى البعد ، كما أن النقطة الواحدة هى فضاء جزئى بعده صفر ، اذ أنه لا يمكن وجود موضعين مختلفين على نقطة واحدة • ولكن من ذا الذى يهتم بأمر النقاط على أية حال ! •

ولما كنا من المخلوقات ثلاثية الأبعاد فاننا سنجد سهولة أكبر فى تفهم الخواص الهندسية للخطوط والسطوح التى ننظر اليها « من الخارج » عن فهم للخواص المشابهة لخواص الفضاء ثلاثى الأبعاد الذى نعتبر نحن أنفسنا جزءا منه مما يفسر السهولة التى نجدها فى فهم المقصود بالخط المنحنى أو السطح المنحنى فى حين نجد صعوبة فى تفهم العبارة التى مؤداها أن الفضاء الثلاثى الأبعاد يمكن أيضا أن يكون منحنيا •

ومع ذلك فان قليلا من التدريب والفهم للمعنى الحقيقى لكلمة « الانحناء » يجعلنا أكثر قدرة على ادراك مفهوم الفضاء المنحنى ثلاثى الأبعاد ببساطة • وقبل أن ننتهى من الفصل القادم سوف نجد (نأمل ذلك !) أن بمقدورنا الحديث ببساطة عن مفاهيم تبدو لأول وهلة مخيفة وهى تندرج تحت اطار الفضاء المنحنى ثلاثى الأبعاد •

ولكن قبل أن نناقش ذلك ، دعونا نحاول ممارسة شيء من الرياضة الذهنية مع بعض ثوابت الفضاء الثنائى والأحادى بالاضافة الى الفضاء الثلاثى المعتاد •

٢ ـ هندسة بدون قياسات (١) :

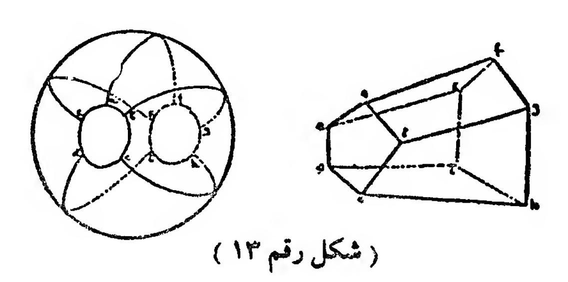
على الرغم من أن ذكرياتك عن الهندسة التى تعلمتها فى أيام الدراسة بوصفها فرعا من فروع علم قياس الأبعاد الفراغية تنحصر فى أنها ذلك العلم الذى يحتوى أساسا على عدد هائل من النظريات الخاصة بالعلاقات الرقمية بين المسافات والزوايا المختلفة (كما فى نظرية فيثاغورث عن أضلاع المثلث القائم الزاوية مثلا ••••) ، والواقع أن كثيرا من أهم خصائص الفضاء لا يتطلب أى قياس سواء بالنسبة للأبعاد ،

---

(١) كلمة geometry (أو الهندسة) هى كلمة مشتقة من كلمتين يونانيتين وهما ge بمعنى أرض أو بالأحرى سطح الأرض ، وكلمة metrein وهى فعل بمعنى يقيس • ومن الواضح أنه عندما صيغت هذه الكلمة كان اهتمام الاغريق منصبا على موضوع قياس الأراضى والعقارات •

او الزوايا من أى نوع كانت • ويعرف فرع الهندسة الخاص بهذه الأمور بتحليل الموقع أو الطوبولوجيا (٢) ويعتبر واحدا من أشد أفرع الرياضيات اثارة وصعوبة •

ولكى نعطى مثالا بسيطا على مشكلة طوبولوجية ، دعونا نفترض أن هناك سطحا هندسيا مقفلا ، وليكن سطح كرة مقسم بشبكة من الخطوط الى عدد من المناطق المنفصلة • وبوسعنا أن نحصل على هذا الشكل بتحديد عدد عشوائى من النقاط على سطح كرة ، ثم نقوم بالتوصيل بينها بخطوط غير متقاطعة فما هى العلاقة بين هذا العدد من النقاط الأصلية والخطوط التى تمثل حدودا بين المناطق المتلاصقة ، وعدد المناطق نفسها ؟ ومن الواضح قبل أى شىء أن سطوح الأجسام شبه الكروية مثل ثمرة القرع ، أو المستطيلة كالخيار ستحتوى على نفس العدد من النقاط والخطوط ، والمناطق الموجودة على سطح كامل الاستدارة كالكرة • وعمليا نستطيع أن نحصل على أى نوع من السطوح المغلقة بالتأثير على بالون من المطاط عن طريق شده ، أو الضغط عليه ، وبأى طريقة نريدها ما عدا قطعه أو تمزيقه وسنجد أن أى شكل نحصل عليه لن يؤثر على اجابتنا أدنى تأثير ، وتعد هذه الحقيقة مناقضة تماما لحقائق الهندسة العادية عن العلاقات بين الأرقام (مثل العلاقات الموجودة بين الأبعاد الخطية ، والمساحات المسطحة وأحجام الأجسام الهندسية) ، فالحقيقة أن هذه العلاقات تختل ماديا اذا طرقنا مكعبا وحولناه الى منشور متوازى الأضلاع ، أو ضغطنا على كرة وحولناها الى قرص أشبه بالفطيرة ••



(شكل رقم ١٣)

كرة مقسمة جزئيا ومحولة الى جسم متعدد السطوح

(٢) والكلمة Topology تعنى فى اللاتينية والاغريقية على الترتيب علم دراسة المواقع ، وهى تختلف عن الطوبوغرافيا topography التى تعنى السمات السطحية لموضع أو اقليم •

ويمكننا أيضا أن نفعل شيئا آخر فى هذا الجسم الكروى المنقسم الى عدد من الأقسام المنفصلة وهو أن نحول كل قسم الى مساحة منبسطة بحيث تصبح الكرة متعددة السطوح ، وتصبح الخطوط الفاصلة بين المناطق حوافا لهذا الجسم والنقاط الأصلية رءوسا له ٠

والآن بمقدورنا أن نعيد صياغة المشكلة السابقة — دون أن نغير شيئا فيها — الى سؤال عن العلاقة بين عدد رءوس ، وحواف وأوجه الجسم متعدد السطوح ٠

وفى شكل (١٤) تجـــد خمسة من متعددات الســـطوح المنتظمة (polyhedrons) ، أى الأجسام التى يتساوى كل سطح فيها مع الآخر فى عدد الرءوس والأضلاع ، ما عدا جسما واحدا مرسوما ببســاطة من الخيال وهو ذو طبيعة هولية (غير منتظم الأضلاع) وفى كل من هــذه الأجسام الهندسية نستطيع أن نحصى عدد الرءوس ، والحواف والأوجه ٠ هل توجد علاقة بين هذه الأرقام الثلاثة ؟ وان وجدت فما هى ؟ ويمكننا عن طريق العد المباشر أن نضع هذا الجدول ٠

الجسم	ر عدد الرؤوس	ح عدد الأحرف	و عدد الأوجه	ر + و	ح + ٢
منشور ثلاثى (هرم)	٤	٦	٤	٨	٨
منشور سداسى (مكعب)	٨	١٢	٦	١٤	١٤
منشور ثمانى	٦	١٢	٨	١٤	١٤
منشور عشرونى	١٢	٣٠	٢٠	٣٢	٣٢
منشور اثناعشرى	٢٠	٣٠	١٢	٣٢	٣٢
(أو مخمس اثناعشرى)					
منشور هولى	٢١	٤٥	٢٦	٤٧	٤٧

فى البداية تبدو الأرقام الموجودة تحت الأعمدة الثلاثة (ر ، ح ، و) وكأن لا علاقة محددة بينها ٠ ولكن بعد قليل من التفكير تجد أن مجموع الأرقام فى ر ، ويزيد دائما على العدد فى العمود ح باثنين ٠

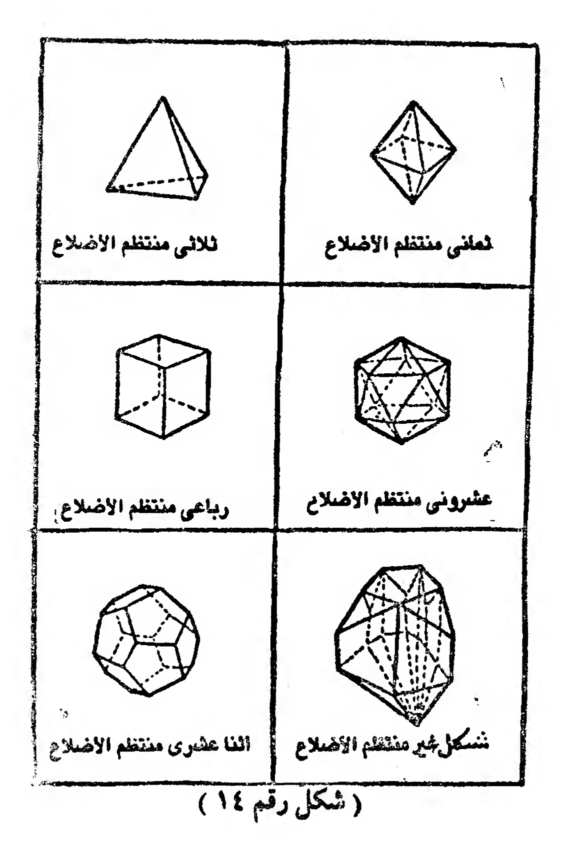
وهكذا يمكننا صياغة علاقة رياضية كالتالى :

ر + و = ح + ٢

هل تنطبق هذه العلاقة على الأجسام الموجودة فى شـــكل (١٤) فحسب ؟ أم أنها تنطبق أيضا على أى شكل متعدد السطوح ؟ · اذا حاولت رسم عدد آخر من هذه الأجسام غير تلك الموجودة فى شكل (١٤) ثم قمت بعد ذلك باحصاء الرءوس والحواف والأوجه يتبين لك أن العلاقة السابقة تصح فى جميع الحالات ·

من الواضح اذن أن ر + و = ح + ٢ هى نظرية رياضية عامة ذات طبيعة طوبولوجية ، طالما أن التعبير عن العلاقة هنا لا يعتمد على قيـاس أطوال الأضلاع ، أو مساحات الأوجه ، ولكنه يقتصر على عدد الوحدات الهندسية المختلفة (وهى الرءوس والأضلاع والأوجه) ·

وقد كان الرياضى الفرنسى « رينيه ديكارت » أول مكتشف للعلاقة بين رءوس وأضلاع وأوجه متعددات السطوح وكان ذلك فى القرن السابع



(شكل رقم ١٤)

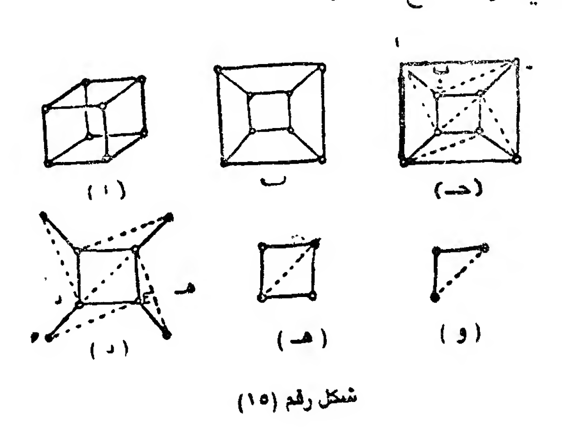
خمسة أشكال متعددة الأسطح (وهى الأشـــكال الممكنة) وشكل هولى (غير منتظم)

عشر الا أن البرهان وضـع بعـد ذلك على يد رياضى عبقرى آخر هو « ليونارد أيولر » فسمى باسمه (برهان أيولر) .

وفيما يلى نجد البرهان الكامل لنظرية أيولر ، وفقا لنص مأخوذ من كتاب « ر. كورانت » و « هـ. روبين » **ما هى الرياضيات ؟** [٣] ، وذلك لنوضح كيفية القيام بأشياء من هذا القبيل .

حتى نبرهن على قانون ايولر دعونا نتصور أحد متعددات السطوح البسيطة المفرغة من الداخل والمصنوعة من المطاط (شكل ١٥ أ) . وبنزع أحد أوجهه نستطيع أن نفرده عن طريق الشد على سطح مستو . وسوف تتغير مساحة أوجه وزوايا هذا الشكل بالطبع بعد هذه العملية حتى يتحول الى (شكل ١٥ ب) .

على أن عدد رءوسه وأضلاعه سيظل فى الشكل الجديد مساويا لنفس العدد فى الشكل الأصلى فى حين تنقص الوجوه وجها واحدا وهو الذى انتزعناه من قبل . والآن سنبين أن معادلة هذا السطح هى ر − ح + و = ١ ، وأن اضافة الوجه المنتزع تجعلنا نحصل على المعادلة الأصلية ر − ح + و = ٢ .



شكل رقم (١٥)

برهان نظرية « أيولر » على المكعب ويمكن استخدام نفس البرهان مهما كان الشكل .

« فى البداية نقوم بتثليث الشكل المستوى بالطريقة الآتية :

نرسم قطرا فى أحد وجوه الشكل غير المثلثة أصلا مما يؤدى الى

---

(٣) المؤلف يتقدم بالشكر الى الأساتذة « د. كورانت » و « د. روبين » وكذا المطبعة جامعة أكسفورد على السماح له باعادة تقديم القطعة التالية . ولهؤلاء القراء الذين اصبحوا مهتمين بمشكلات الطوبولوجيا بناء على الأمثلة القليلة التى سردناها هنا ، يمكنكم أن تجدوا معالجة أكثر تفصيلا لهذا الموضوع فى كتاب (What Is Mathematics ?)

زيادة كل من ح ، و بواحد وبذلك لا تتأثر ر − ح + و ، ثم نستمر في رسم الأقطار حتى يصبح الشكل كله عبارة عن مثلثات (شكل ١٥ ج) . وفى الشبكة المثلثة يظل المقدار ر − ح + و ثابتا اذ لا يتـأثر برسم الأقطار ٠

« وتكون أضلاع بعض المثلثات واقعة على حدود الشبكة الأصلية ، وبعض المثلثات مثل أ ب ج لا يكون لها الا ضلع واحد هو نفسه أحد حدود الشبكة بينما يكون لبعضها الآخر ضلعان ٠ نأخذ أى مثلث من هذه المثلثات المذكورة ونحذف منه الأضلاع التى لا تنتمى أيضا الى مثلث آخر (شكل ١٥ د) ، وبذلك فاننا نزيل من المثلث أ ب ج الضلع أ ج والوجه تاركين الرءوس أ ، ب ، ج والضلعين أ ب ، ب ج ٠ بينما نزيل من المثلث د هـ و الضلعين د و ، و هـ و والرأس و ٠

ان ازالة مثلث من النوع (أ ب ج) تؤدى الى نقصان و ، ح بمقدار (١) بينما تبقى و دون تأثر ، وهكذا تبقى ر − ح + و كما هى ، أما ازالة مثلث من نوع (د هـ و) فتؤدى الى نقصان ر بمقدار (١) ، ح بمقدار (٢) ، و بمقدار (١) وبذا أيضا يظل المقدار ر − ج + و دون تغير ٠ وبأداء هذه العمليات فى تتابع حسن الاختيار نستطيع أن نزيل المثلثات ذات الأضلاع الواقعة على حدود الجسم (هذه المثلثات تتغير مع كل ازالة) حتى يتبقى لنا مثلث واحد فى النهاية له ثلاثة أضلاع وثلاثة رءوس ووجه واحد فى هذا الشكل البسيط يكون ر − ج + و = ٣ − ٣ + ١ = ١ ٠ ولكن كما رأينا من قبل فان ر − ح + و لم تتغير مع ازالة المثلثات ، اذن فلابد أن ر − ح + و كانت = ١ أيضا فى الشكل الأصلى وبالتالى تتساوى أيضا مع متعدد السطوح الذى ينقص وجها واحدا ، ونستنتج من ذلك أن ر − ح + و = ٢ بالنسبة للشكل الكامل وهذا يكمل صيغة « ايولر » ٠

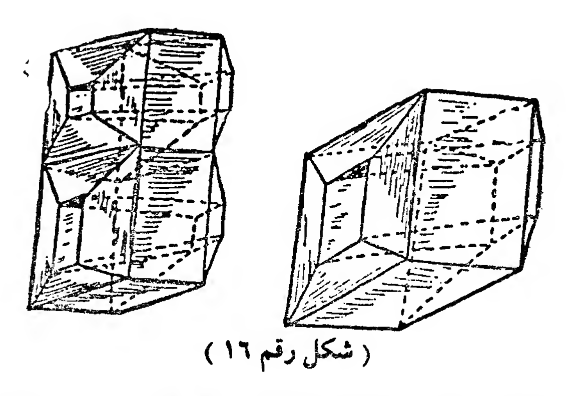
ومن النتائج المثيرة لقانون أيولر : **ان المجسمات المنتظمة متعـددة الأسطح لا يمكن أن تزيد أشكالها على خمسـة لا غير كمـا فى شكل (١٤) ٠**

وبامعان النظر فيما ورد فى الصفحات السابقة نجد أننا عند رسمنا الأشكال السابقة (على اختلافها) كما نراها فى شكل (١٤) ، وأيضـا فى الجدول الحسابى الذى أثبتنا به صحة نظرية ايولر ، افترضنا افتراضا ضمنيا واحدا ، كان من شأنه الحد من اختيارنا الى درجة كبيرة ، فقـد اقتصرنا على متعددات السطوح الخالية ــ اذا جاز القول ــ من الثقـوب وعندما نتحدث عن الثقوب فاننا لا نعنى بذلك مثل هـذا النوع الذى

يحدث فى البالون ، ولكن نقصد نوعا آخر مثل ذلك الذى يحدث فى الكعكة ، أو ذلك الفراغ الذى يكون داخل الاطار الكاوتشوك للعجلة ٠

ان نظرة على الشكل رقم (١٦) سوف توضح لنا الأمر ، ففى الشكل نجد جسمين هندسيين مختلفين ، وكلاهما لا يزيد على أى جسم فى شكل (١٤) من حيث أنهما متعددا السطوح ٠

والآن لنر ما اذا كانت نظرية أيولر تصح هنا أم لا : فى الحالة الأولى يمكن أن نعد ١٦ رأسا ، ٣٢ ضلعا ، ١٦ وجهـا ٠ أى ر + و = ٣٢ بينما ح + ٢ = ٣٤ وفى الحالة الثانية يوجد ٢٨ رأسا ، ٦٠ ضلعا ، ٣٠ وجها ٠ اذن ر + و = ٥٨ فى حين يكون ح + ٢ = ٦٢ وتفشل القاعدة ثانيا !! ٠



(شكل رقم ١٦)

مكعبان عاديان بهما ثقب او ثقبان ، والوجوه ليست مربعة تماما هنا ولكن هذا ليس مهما فى الطوبولوجيا كما راينا من قبل ٠

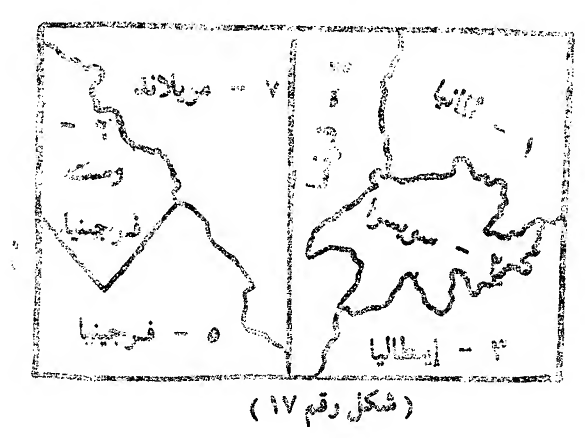
وما السبب فى ذلك ؟ ، ولماذا لا تنطبق نظرية أيولر على هذه الحالات ؟

ان المشكلة تكمن بالطبع فى أن كافة متعددات السطوح التى ناقشناها سابقا يمكن أن تشبه كرة القدم أو البالون ، بينما كان الجسمان السابقان الجديدان أشبه باطار العجلة ، أو احدى المصنوعات المطاطية المعقدة ، فالبرهان الرياضى السابق ذكره لا ينطبق على متعددات السطوح من أمثال الشكل السابق لأن أجسام هذه الأشكال لا يمكن أن تطبق عليها العمليات اللازمة لابرهان حيث قد « طلب منا أن نقطع أحد الوجوه للشكل المفرغ متعدد السطوح وأن نحور شكل السطح الباقى حتى يصبح مستويا أو ممددا » ٠

واذا ما أخذت كرة قدم وأزلت جزءا من سطحها باستعمال المقص لن تجد صعوبة فى تحقيق المطلوب بعد ذلك . ولكن هذا لا يمكن فعله مع الاطار بنجاح مهمـــا حاولت ، فاذا لم تقتنع بالنظر الى شـــكل (١٦) أحضر اطارا قديما وجرب بنفسك .

ولكن لا تحسب أنه لا توجد علاقة بين و ، ر ، ح لمتعددات السطوح المعقدة الشكل، فهناك علاقة بينها وان كانت مختلفة عن السابقة، فبالنسبة للشكل الذى يشبه البقسماط الحلقى أو الطارة أو المجسم الحلقى فالعلاقة تكون فيه ر + ح = و ، فى حين يتغير هذا القانون بالنسبة الى المجسمات الشبيهة بشكل (١٦) ر + و = ح - ٢ وبصـــفة عامة تكون العلاقة ر + و = ح + ٢ - ٢ ن حيث ن عدد الثقوب .

ومن المشكلات الطوبولوجية ذات العـــلاقة الوثيقة بنظرية أيولر ما يعرف ب « مشكلة الألوان الأربعة » . افترض أن لدينا مسطحا كرويا مقسما الى عدد من المناطق المنفصلة . وطلب منا أن نلون هذه المناطق بحيث لا يكون لمنطقتين متجاورتين (أى على حدود مشتركة) نفس اللون . فما هو أقل عدد من الألوان المختلفة الممكن استخدامها فى مثل هـــذا العمل ؟ من الواضح أن لونين فقط لا يكفيان بصفة عامة ، ذلك أن لدينا ثلاثة حدود لمناطق مختلفة ملتقية فى نقطة واحدة (مثلا فى فيرجينيا ، ووست فرجينيا ، ومريلاند على خريطة الولايات المتحدة شكل ١٧) .



(شكل رقم ١٧)

خريطة طوبولجية لولايات مريلاند وفيرجينيا ووست فرجينيـــا (يسارا) وسويسرا وفرنسا والمانيا وايطاليا (يمينا) .

(☆) نتوء مستدير

كما يسهل أيضا أن نجد مثالا يتطلب أربعة ألوان (سويسرا فى الفترة التى كانت النمسا فيها خاضعة لألمانيا (شكل ١٧) (٤) ٠

ولكن مهما حاولت لن تستطيع أن ترسم خريطة من الخيال على سطح كرة أو على ورقة مستوية بحيث تحتاج فيها الى أكثر من أربعة ألوان (٥) ٠ ويبدو أنه مهما كانت الخريطة معقدة ، فان أربعة ألوان تكفى دائما لتجنب أى لبس على الحدود ٠

اذن ، اذا صحت العبارة السابقة فلابد من أننا نستطيع التوصل الى برهان رياضى لها ، ولكن هذا البرهان استعصى على أجيال الرياضيين حتى وقتنا هذا ٠ وها نحن بازاء حالة رياضية لا شك فيها عمليا غير أن أحدا لا يعرف لها برهانا ٠ وقصارى ما أمكن التوصل اليه رياضيا أن العدد الكافى من الألوان هو خمسة ٠ وهذا البرهان مبنى على علاقة أيولر التى طبقت على عدد من الدول وعدد من الحدود وعدد من النقاط التى تلتقى فيها ثلاث أو أربع دول ٠٠ الخ ٠

وسوف لا نتعرض لهذا البرهان بسبب شدة تعقيده كما أنه سيبعدنا عن موضوع البحث الرئيسى محل المناقشة ٠ ولكن يستطيع القارىء أن يجده فى مختلف كتب الطوبولوجيا فيقضى ليلة ممتعة (أو ربما ليلة مسهدة) فى التأمل فيه ٠

وعليك اما أن تثبت أنه ليس فقط خمسة ألوان ، بل وأربعة ألوان تكفى لتلوين أى خريطة ، أو اذا كنت تشك فى صحة هذه العبارة واستطعت أن ترسم خريطة تحتاج الى أكثر من أربعة ألوان فسوف يؤدى نجاحك فى أى من هاتين المحاولتين الى تسجيل اسمك فى حوليات الرياضة البحتة على مدى قرون المستقبل ٠

ومما يبعث على العجب أن مشكلة التلوين التى استعصت على الحل فوق السطح الكروى أو المستوى ، تجد حلا لها بشكل بسيط نسبيا على الأسطح المعقدة مثل الكعكة أو « البقسماط » ٠ وعلى سبيل المثال فقد ثبت أن سبعة ألوان مختلفة تكفى لتلوين أى مجموعة من التقسيمات الفرعية

---

(٤) قبل هذا العهد كانت تكفينا ثلاثة ألوان ، سويسرا ، أخضر ، وفرنسا والنمسا ، أحمر ، وألمانيا وايطاليا ، أصفر ٠

(٥) تتماثل الخريطة المرسومة على كرة مع تلك المرسومة على ورقة مستوية من حيث مشكلة الألوان ٠ وطالما أن للمشكلة حل على الكرة فباستطاعتنا أن نصنع فتحة صغيرة فى احدى المناطق الملونة و « نفتح » السطح الباقى على جسم مستو ، مما يعد تحويلا طوبولوجيا مثاليا ٠

دون تلوين منطقتين متجاورتين بنفس اللون أبدا ، وهناك أمثلة على أننا نحتاج حقا سبعة ألوان ٠

وحتى تصاب بصداع آخر عليك أن تأتى باطار عجلة منفوخ ومجموعة من سبعة ألوان ، ثم حاول تلوين سطح الاطار بحيث تلامس كل منطقة ملونة بلون ما ستة مناطق أخرى مختلفة الألوان وبعد ذلك تستطيع أن تقول « ان لى طريقتى الخاصة مع الكعكة » ٠

٣ ـ قلب الفضاء ظهرا لبطن :

لقد ناقشنا حتى الآن الخواص الطوبولوجية لعدد من الأسطح بصفة خاصة ، وهى تعتبر من التقسيمات الجزئية ثنائية البعد على أنه من الواضح لنا أن نفس هذه الأسئلة يمكن توجيهها بالنسبة للفضاء ثلاثى الأبعاد الذى نعيش فيه ٠ وبذا يمكن صياغة التعميم ثلاثى الأبعاد على مشكلة تلوين الخريطة الى حد ما كالتالى :

المطلوب منا أن نبنى فضاء من الفسيفساء باستخدام قطع مختلفة الأشكال والمواد المصنوعة منها ، ونريد أن نفعل ذلك بحيث لا تتلامس فى هذا الفضاء قطعتان مصنوعتان من نفس المادة وذلك على امتداد هـــذا الفضاء ٠ عما عدد القطع المختلفة اللازمة للعمل ؟

وما وجه الشبه بين مشكلة التلوين فى ثلاثة أبعاد والتلوين على سطح كرة أو حلقة ؟ وهل من الممكن تصور فضاءات غير عادية بينها وبين الفضاء العادى علاقة مثل علاقة ســطح الكرة أو الطارة بالأجسام ذات السطوح المستوية ؟ هذا السؤال قد يبدو ضربا من الجنون لأول وهلة ٠ فالواقع أنه رغم أننا نستطيع أن نفكر فى أسطح مختلفـــة الأشكال ، الا أننا لا نستطيع أن نصدق وجود أى نوع من الفضاء ثلاثى الأبعاد الا هذا الفضاء الموجود أمامنا وهو بالتحديد فضاؤنا الذى نعيش فيه ٠ ولكن هذا الرأى ينطوى على مغالطة خطيرة ، فاذا أعملنا الخيال قليلا ، لا ستطعنا أن نفكر فى فضاء ثلاثة الأبعاد مختلف نوعا ما عن هذا الفضاء الذى درسناه فى كتب الهندسة الاقليدية المدرسية ٠

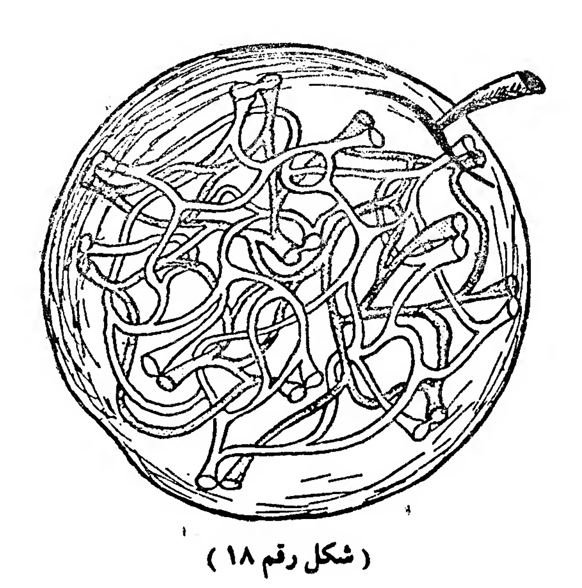
وتكمن صعوبة تخيل مثل هذا الفضاء الغريب أساســا فى الحقيقة التى مفادها أننا من المخلوقات ثلاثية الأبعاد ، وبالتالى علينا أن ننظر الى الفضاء « من الداخل » ان صح هذا القول وليس « من الخارج » كما نفعل

عند دراسة الأسطح الغريبة الشكل ، ولكن يمكننا مع شيء من الرياضة الذهنية أن نقهر هذه الفضاءات الغريبة دونما صعوبة كبيرة ·

دعونا أولا نحاول تصميم نموذج لفضاء ثلاثى الأبعاد ، ذى خواص مشابهة لسطح الكرة · والخاصية الرئيسية للسطح الكروى هى بالطبع أنه بالرغم من عدم وجود حدود له فان له مساحة محـــددة فهو سطح يستدير وينغلق على نفسه · فهل بمقدورنا أن نتخيل فضاء ثلاثى الأبعاد يستدير وينغلق على نفسه بشكل مماثل ومن ثم يصبح له حجم محدد دون أن تكون له حدود قاطعة ؟ فكر فى جسمين مستديرين يحد كل منهما سطح دائرى تماما كالتفاحة والقشر المحيط بها ·

والآن تخيل أن هذين الجسمين قد وضعا « داخل بعضهما » بحيث تلتصق قشرتاهما · ونحن لا نحاول ، طبعا ، أن نقول ان بمقدور المرء أن يأخذ جسمين حقيقيين كالتفاحتين مثلا ويضغطهما داخل بعضهما بحيث تلتصق قشرتاهما فالتفاحتان سوف تنسحقان ولكنهما لن تتداخلا ·

وعلى المرء أن يتخيل تفاحة ذات نظام معقد من القنوات حفر الدود فيها ، وعليه أن يتخيل جنسين من الدود وليكن أحدهما أبيض والآخر أسود ، وهذان الجنسان يتنافران ولا يلتقيان فى قناة واحدة رغم احتمال أن كل منهما قد بدأ الحفر من نقطتين متجاورتين · ان تفاحة تتعرض لهذا الهجوم من نوعين مختلفين من الدود سوف تأخذ فى النهاية منظرا مشابها لما هو موضح فى شكل (١٨) وسيكون بها شبكتان من القنوات متجاورتان



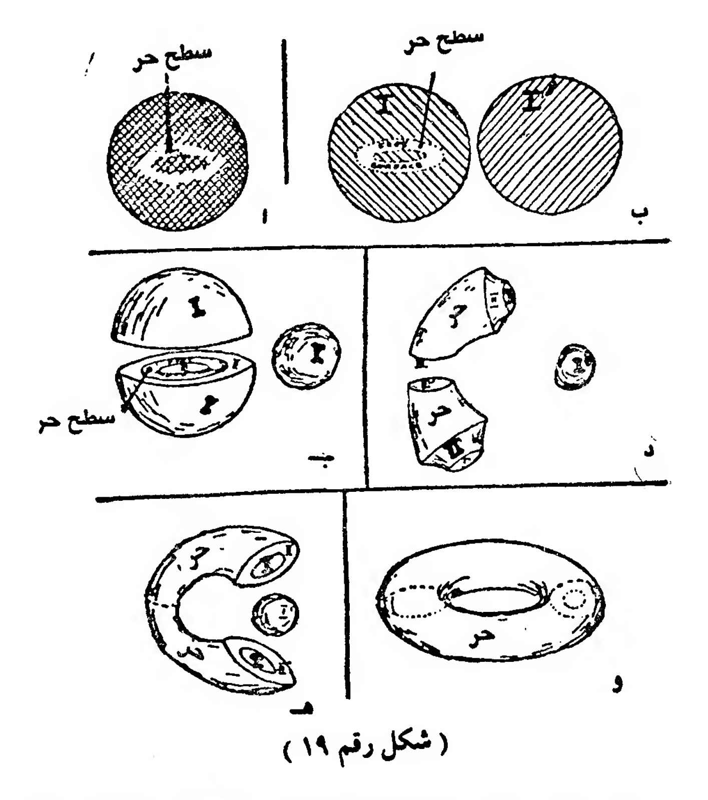
(شكل رقم ١٨)

تماما بحيث يمتلىء بهما جوف التفاحة · ولكن على الرغم من أن القنوات السوداء والبيضاء تمران فى خطوط سير متقاربة جدا فانه لا يوجد طريق للعبور من الشبكة الأولى الى الشبكة الثانية الا بالعــودة الى القشرة · واذا تصورنا أن القنوات تزداد دقة باستمرار ويزداد أيضا عددها سوف تجد فى النهاية أن الفضاء الداخلى للتفاحة هو ببساطة تداخل بين فضائين مستقلين لا يلتقيان الا عند السطح الخارجى ·

واذا كنت تكره الدود فعليك أن تتخيل نظاما مزدوجا من الطرقات والسلالم التى يمكن أن تبنى مثلا داخل بناء عملاق على هيئة كروية · ويمكنك أن تتصور أن كل سلم يمر بالفضاء الداخلى للكرة ولكن حتى تنتقل من نقطة على أحد السلمين الى نقطة متاخمة لها على السلم الآخر عليك أن تبدأ من سطح الكرة حيث يلتقى السلمان ثم تأخذ طريقك الى الموقع الذى تريده على أحدهما · فنحن نفترض وجود سلمين متداخلين دون أن يندمجا معا ، وأن صديقا لك قد يكون قريبا جدا منك وعلى الرغم من ذلك عليك حتى تتمكن من مقابلته ومصافحته أن تعــود من حيث أتيت ، وتبدأ الطريق من جديد على السلم الذى يقف عليه ! ومن المهم أن تلاحظ أن نقط الالتقاء بين نظامى السلم لن يختلفا فى الواقع ، عن أى نقطة أخرى داخل الكرة ، حيث انه بمقدورنا دائما أن نغير التركيب كله بحيث نجذب نقط الالتقاء الى الداخل بينما تدفع النقط التى كانت من قبل فى الداخل الى خارج سطح الكرة · والنقطة التالية فى الأهمية فى هذا النموذج هى أن الطول الكلى للقنوات محدد ولكن لا يوجد لهــا « نهايات محددة » · فبامكانك أن تمضى عبر الطرقات والسلالم دون أن يوقفك سور أو حائط ، واذا ما طال بك السير فسوف تصل لا محالة الى نقطة البداية · وبالنظر الى هذا البناء من الخارج يمكن للمرء أن يقول ان السير فى هذه المتاهة سوف يؤدى بك الى أن تجد نفسك فى النهاية عند نقطة البداية وذلك ببساطة لأن الممرات تلتف بالتدريج حــول بعضها ، ولكن بالنسبة لمن بداخل الكرة ولا يعلمون شيئا عن خارج هذه الكرة ، سوف يبدو لهم هذا الفضاء وكأن حجمه لا نهائى كما أنه لا حدود له · وكما سوف نرى فى أحد الفصول القادمة أن هذا « الفضاء ثلاثى الأبعاد المنغلق على نفسه » ، الذى ليست له حدود واضــحة والذى مع ذلك محدود وليس صحيحا على الاطلاق أنه لا نهائى ، قد ساعدنا عند الحديث عن خواص الكون بصفة عامة ، والحقيقة أن المشاهدات التى تمت عن طريق التلسكوب ، تشير كما يبدو الى أن هذا الفضاء البعيد يبدأ بالانحناء ، عند أبعاد مترامية مما يدل على ميل واضح الى الالتفاف والانغلاق على نفسه بنفس الأسلوب الذى يحدث فى القنوات ، فى مثال التفاحة والدود ولكن

قبل أن نمضى فى دراسة هذه المشكلة المثيرة ، علينا أن نعلم المزيد من خواص الفضاء الأخرى ٠

ونحن لم نفرغ تماما من التفاحة والدود والسؤال التالى هو هل يمكن تحويل التفاحة الى حلقة من البقسماط ؟ كلا نحن لا نقصد تحويلا فى الطعم فنحن نعنى هنا بدراسة الهندسة وليس بالطهى ٠ والآن لنأخذ تفاحتين مماثلتين لما ذكرناه فى الجزء السابق أى تفاحتان طازجتان « داخل بعضهما » و « ملتصقتان ببعضهما » من القشرة والآن افترض أن دودة قد صنعت قناة اسطوانية واسعة كما فى شكل (١٩) ٠ تذكر أن ذلك لن يحدث الا فى تفاحة واحدة بحيث تكون كل نقطة لم تنخرها الدودة مزدوجة فى التفاحتين أما داخل القناة فسوف نجد لدينا مادة التفاحة التى لم تنخرها الدودة ٠ والآن فان « التفاحة المزدوجة » يصبح لها سطح جديد خالص من الجدارين الداخليين للقناة (أ) ٠٠



(شكل رقم ١٩)

كيف تحول تفاحة مزدوجة نخرتها دودة الى قطعة من البقسماط بلا سحر ، انها مجرد طوبولوجيا ٠

هل تستطيع أن تحول شكل هذه التفاحة التالفة الى حلقـة من البقسماط ؟ من المفترض بالطبع أن مادة هذه التفاحة مرنة تماما بحيث يمكن تشكيلها كما نشاء والشرط الوحيد هو عدم حـدوث أى تمزق فيها • وحتى يمكن تسهيل العملية ربما نقطع مادة التفاحة بشرط أن نعيد لصقها ثانية بعد اجراء التحوير المطلوب •

نبدأ العملية بفصل قشرتى هاتين التفاحتين عن بعضهما (التفاحة المزدوجة وأبعاد التفاحتين عن بعضهما) (شكل ١٩ ب) • وسوف نميز السطحين المنفصلين بالرقمين I والحرف I´ حتى نتمكن من متابعتهما فى العمليات اللاحقة ونستطيع أن نعيدهما كما كانا قبل الانتهـاء من المهمة • والآن تقطع الجزء الذى يحتوى على القناة التى صنعتها الدودة بالعرض وبذلك يمر القطع من منتصف القناة (شـكل ١٩ ج) • وينتج عن هذه العملية فتح سطحين جديدين ونرمز لهما بالرموز II ، II´ و III ، III´ بحيث نعرف كيف نلصـقهما ببعض مرة أخرى • كما يؤدى هذا القطع الى ظهور السطح الحر للقناة والذى سوف يشكل سطحا حرا للكعكة • والآن خذ الأجزاء المقطوعة ورتبها كما يظهر فى الشكل (١٩ د) • والآن تجد أن السطح الحر قد امتد الى حد كبير (لكن وفقا لما افترضناه فان مادة التفاحة قابلة للامتداد والمط تماما !) • وفى الوقت ذاته نجد أن السطوح المقطوعة I ، II ، III قد انكمشت أبعادها • وأثناء التعامل مع النصف الأول من « التفاحة المزدوجة » ينبغى أيضـا أن نقلص حجم النصف الثـانى ضاغطين اياه بحيث يمـاثل حجم ثمرة التوت ، والآن نحن على استعداد للبدء فى لصق ما قطعناه • فى البداية الصق السطحين III ، III´ مرة ثانيـة ، وهـذا أمر سهل ، وبذلك تحصل على الشكل الموضح فى (١٩ هـ) • ثم ضع التفاحة المنكمشة بين نهايتى الشكل الناتج الشبيه بالكماشة ثم صل الطرفين معا • ان سطح الكرة المرموز لها بالرمز I´ سوف يلصق بالسطح I والذى انفصل عنه فى الأصل بينما ينغلق السطحان II ، II´ على بعضهما ونتيجة لذلك نحصل على حلقة كالبقسماط •

وما مغزى ذلك كله ؟ •

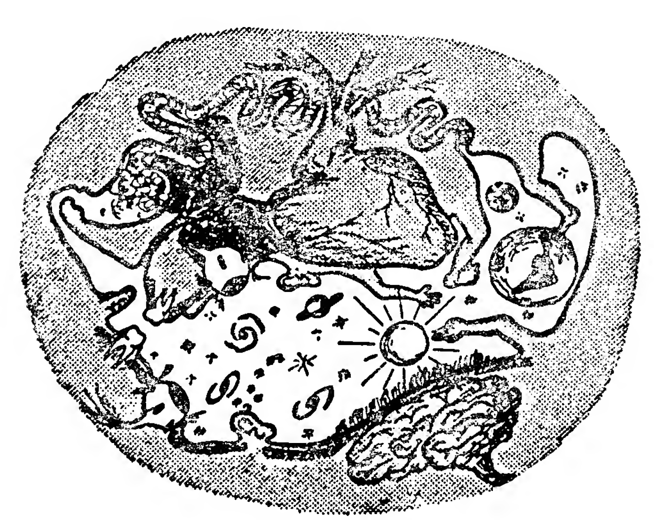
لا شىء الا تدريبك على الهندسة التخيلية ، وهى نوع من الرياضة الذهنية سوف يساعدك على فهم الأمور الغريبة مثل الفضاء المنحنى والفضاء المنغلق على نفسه •

اذا أردت أن توسع من أفق تخيلك أكثر من ذلك قليلا ، فاليك « التطبيق العملى » على التجربة السابقة •

ان جسمك أيضا له شكل الحلقة وان كان ذلك لم يخطر لك ببال من قبل • والواقع أن هذه مرحلة مبكرة جدا من مراحل التكوين (مرحلة الجنين) • وكل نظام حى يمر بما يسمى « المرحلة المعدية » (من المعدة) حيث يأخذ الجنين الشكل كرويا وبه قناة واسعة تمر بعرضه ، ويدخل الطعام من احدى نهايتى هذه القناة ليخرج من طرفها الآخر بعد أن يحتجز الجسم منه ما يمكن الانتفاع به • أما الكائنات الكاملة النمو فتصبح هذه القناة فيها أدق وأكثر تعقيدا ، ولكن المبدأ يظل كما هو ، كما أن كافة خواص الحلقة البقسماطية تبقى كما هى دون تغيير •

حسن ، طالما أنك حلقة حاول أن تجرى تحويلا عكسيا لتلك الهيئة المبينة فى شكل (١٩) وحاول أن تتخيل أنك أصبحت تفاحة مزدوجة بها قناة داخلية ، وسوف تجد على وجه الخصوص أنه طالما أن الأجزاء المختلفة من جسمك ، والمتداخلة جزئيا مع بعضها البعض سوف تمثل جسم « التفاحة المزدوجة » فان الكون بأكمله ، بما فى ذلك الأرض والقمر والشمس والنجوم سوف ينضغط فى هذه القناة الداخلية الدائرية !

حاول رسم صورة لما قد يبدو هذا الأمر عليه ، فاذا ما فعلت ذلك



(شكل رقم ٢٠)

الكون ظهرا لبطن • هذا الرسم السريالى يعبر عن رجل يمشى على سطح الكرة الأرضية ويمد بصره الى النجوم • والصورة محولة طوبولوجيا وفقا للاسلوب الذى سبقت الاشارة اليه (فى شكل ١٩) ولذا فان الأرض ، والشمس ، والنجوم كلها مكدسة فى قناة ضيقة نسبيا وتمر داخل جسم الانسان محاطة بأعضائه الداخلية •

سيعترف لك « سلفادور دالى » نفسه بالتفوق فى فن الرسم السريالى (*). (شكل ٢٠) ٠

ولن نستطيع أن نأتى على هذا الجزء الطويل من الكتـــاب دون أن نناقش بعض الأجسام اليمينية واليسارية وعلاقتها بالخواص العامة للفضاء . وقد يسهل عرض هذه المشكلة بأسلوب ملائم بالاســـتعانة بزوج من القفازات ، وعندما تقارن بين فردتى زوج من القفازات ســـتجد أنهما متطابقتان فى جميع القياســـات الا أن هنـــاك اختلافا كبيرا ، اذ انك لا تستطيع ارتداء الفردة اليمنى فى اليد اليسرى أو العكس وبمقدورك أن تلفهما وتديرهما كما تشاء ومع هذا تبقى اليمنى يمنى واليسرى يسرى. ويمكن ملاحظة نفس الاختلاف بين الأشـــياء اليمنى واليسرى فى تكوين الأحذية ، ونظام التوجيه فى السيارات (أمريـــكية وانجليزية النـــوع) ومضارب الجولف وغير ذلك من الأشياء ٠



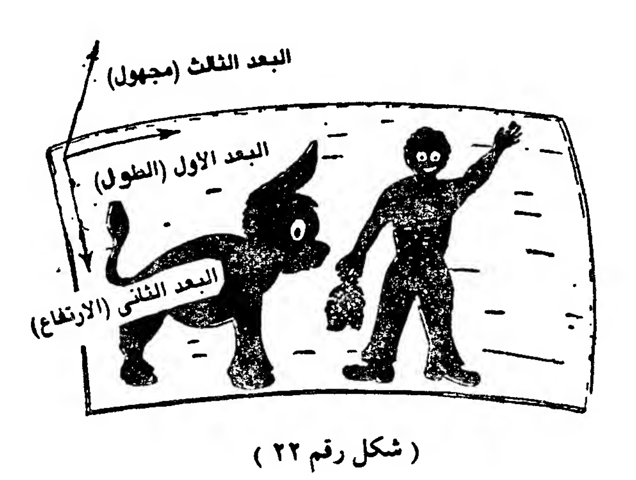
(شكل رقم ٢١)

تبدو الفردتان اليمنى واليسرى متشابهتان تماما ومع ذلك فهما مختلفتـــان تماما أيضا ٠

ومن ناحية أخرى نجد أشياء مثل قبعات الرجال ومضارب التنس والعديد من الأدوات الأخرى متشابهة تماما ٠ فلا أحد من الحماقة بحيث يطلب من متجر دستة من الفناجين اليسارية ، كما أن من الغباء بمكان أن يطلب شخص ما استعارة مفتاح انجليزى **يســـارى** من جار له ٠ ما الفارق بين هذين النوعين من الأشياء ؟ ستجد بعد قليل من التفكير أن أشياء مثل القبعات والفناجين تتصف بما يمكن أن نسميه بالمســـتوى

(*) نزعة ولدت عام ١٩٢٤ وتعتمد أساسا على اللاشعور وتأثرت بتحليلات بريتون وفرويد النفسية ومن روادها المعاصرين دالى وميرو وشجال ٠٠ (المترجم) ٠

المتماثل بحيث يمكن أن نقسمها الى نصفين متماثلين ، الا أن هذا المستوى لا يوجد فى القفازات أو الأحذية • ومهما حاولت فلن تستطيع أن تقسم فردة قفاز الى نصفين متطابقين • والأجسام التى لا تمتلك هذا المستوى المتماثل أو تلك التى يطلق عليها لا متماثلة تندرج تحت فئتين مختلفتين وهما اليمنى واليسرى • وهذا الاختلاف لا يكمن فيما يصنعه الانسان فحسب كالقفازات أو مضارب الجولف ولكنه شائع أيضا فى الطبيعـة • فيوجد مثلا نوعان من القواقع وهما متشابهان فى جميع النواحى عدا طريقة بناء منازلهما • فهناك نوع يبنى مأواه بشكل مغزلى مع اتجاه عقـارب الساعة ، بينما يكون اتجاه بيت النوع الثانى ضد عقارب الساعة ، وحتى ما يسمى بالجزيئات ، وهى الوحدات الدقيقة التى تتكون منها كافة المواد المختلفة يوجد منها جزيئات يسرى وأخرى يمنى تماما كما فى القفازات أو المحارات • ولا يستطيع أحد أن يرى الجزيئات بعينيه المجردة قطعا ، ولكن عدم التماثل يظهر فى أشكال البللورات وبعض الخواص الضوئية لها • فهناك مثلا صنفان من السكر ، سكر أيمن ، وسكر أيسر وصدق أو لا تصدق . يوجد نوعان من البكتريا التى تتغذى على السكر ، كل نوع متخصص فى استهلاك صنف معين من هذه المادة •



(شكل رقم ٢٢)

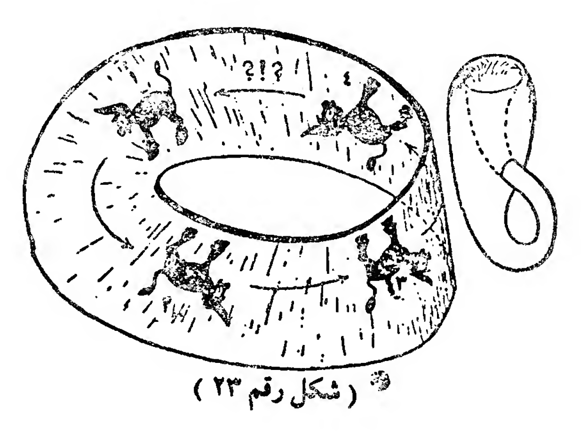
فكرة وجود « مخلوقات الظل » التى تعيش على سطح مستو ، وهذا النوع من المخلوقات ليس « واقعيا » تماما • فالرجل له وجه وليس له «بروفيل» ، كما أنه لا يستطيع أن يضع فى فمه هذا العنب الذى يحمله فى يده • ويستطيع الحمار أن يأكل العنب ولا شىء فى ذلك ، ولكنه لن يمشى الا الى اليمين وعليه أن يتقهقر اذا أراد السير الى اليسار وهذا ليس غريبـــا بالنسبة للحمير ولكنه ليس مقبولا بصفة عامة •

وكما أشرنا آنفا من المستحيل قطعيا ، أن نحول جسما أيسر الى جسم أيمن كما فى القفاز على سبيل المثال ٠ ولكن هل هذا صحيح فعلا ؟ أو هل يستطيع أحد أن يتخيل نوعا من الفضاء يمكن فيه أن يتم هذا التحويل ؟ وحتى يتسنى لنا الاجابة على هذا السؤال ، علينا أن نتناول الأمر من وجهة نظر الأجسام المسطحة التى تسكن سطحا يمكن أن ننظر اليه من وضع التفوق باعتبارنا من الكائنات ثلاثية الأبعاد ٠٠ انظر شكل ٢٢ الذى يمثل بعض الأمثلة للسكان الممكن وجودهم على أرض مسطحة ، من فضاء ثنائى الأبعاد وبه يظهر رجل حاملا عنقود من العنب وهى صورة « أمامية للرجل » اذ ان له وجها وليس له بروفيل ٠ بينما ترى فى المثال الآخر « بروفيل لحمار » أو بشكل أكثر دقة صورة جانبية يمنى له ٠ ونستطيع بطبيعة الحال أن نرسم صورة جانبية يسرى له ٠ ولما كان كلا المثالين مقيدا بالسطح فان الاختلاف بينهما لا يخرج عن الاختلاف من وجهة النظر ثنائية الأبعاد ٠ تماما كالقفاز الأيمن والأيسر فى فضائنا العادى ٠ وليس بمقدورك أن تضع « حمارا أيسر » على « حمار أيمن » ، طالما أنك مضطر حتى تنجح فى ضم أنفيهما وذيليهما معا الى أن تقلب أحدهما رأسا على عقب ، وبالتالى تصبح أرجل أحدهما معلقة فى الهواء بدلا من استقرارها على الأرض ٠

ولكنك اذا أخذت واحدا منهما ، بعيدا عن السطح وأدرته فى الفضاء ووضعته ثانية على السطح سوف يصبح الحماران متطابقين ٠ وقياسا على ذلك يمكن القول ان فردة قفاز يمنى يمكن أن نحولها الى فردة يسرى عن طريق انتزاعها من فضائنا فى الاتجاه الرابع وتحريكها بشكل مناسب قبل اعادتها الى وضعها ثانية ٠ ولكن فضاءنا ليس به بعد رابع ومن ثم فان هذا العمل يعتبر ، بالتأكيد ، مستحيلا ٠

اذن دعنا نعود مرة أخرى الى هذا العالم ثنائى الأبعاد ولكن بدلا من أن نتعامل مع سطح مستوى كما فى شكل (٢٢) ، نتحرى خصائص ما يطلق عليه « سطح موبيوس » (Moebius) وهذا السطح المعروف باسم الرياضى الألمانى الشهير الذى كان أول من درسه منذ قرن من الزمان ويمكن اعداده بأخذ شريط من الورق العادى ، ولصقه على هيئة حلقة مع ليه مرة قبل أن يوصل طرفاه ببعضهما ٠ ان نظرة الى شكل (٢٣) سوف تظهر لك كيفية القيام بذلك ٠ وهذا السطح يتميز بعديد من الخواص الغريبة التى يمكن اكتشافها بسهولة عن طريق شقه بالمقص تماما فى خط مواز لحافته (على امتداد الأسهم فى الشكل) ٠ انك تتوقع بالطبع أن تحصل على حلقتين منفصلتين ، ولكن التجربة العملية ستثبت خطأ هذا الاعتقاد ، فبدلا من حصولك على حلقتين سوف تحصل على حلقة واحدة يساوى محيطها ضعفى محيط الخاتم الأصلى وعرضها النصف ! ٠

والآن دعونا نرى ما يحدث لظل حمار حين يمشى على امتداد سطح وبيوس وافترض أنه يبدأ من الموضع ١ (شكل ٢٣) فيرى عند هـذه النقطة كصورة جانبية يسرى ، ثم يمضى حتى يصل الى الموضـــع ٢ ، ٣ الموضح فى الشكل • وفى النهاية يصل الى النقطة التى بدأ منها • ولكن من المدهش له ولك أيضا أنه سيجد نفسه وقد تعلقت أرجله فى الهـواء (موضع ٤) وبمقدوره طبعا أن ينقلب على سطحه لتنزل أرجله ولكنـه سيكون فى عكس اتجاهه الأصلى •



(شكل رقم ٢٣)

سطح موبيوس وزجاجة كلين

وبايجاز نقول ان السير على سطح « موبيوس » سوف يجعل من « البروفيل الأيسر »للحمار بروفيلا أيمن ، وهنا نذكرك أن هذا قد تم رغم أنه لا يزال على نفس السطح ولم يؤخذ منه ليقلب فى الفضاء • وهكذا نجد أنه **يمكن تحويل الأشياء اليمنى الى أشياء يسرى على سطح ملتف والعكس صحيح عن طريق السير على امتداد هـــذا الالتفاف •**

ويمثل « شريط موبيوس » المبين فى شكل (٢٣) جزءا من سطح أكثر شمولا يعرف بزجاجة « كلين » (Klein) (وهى مبينـــة على اليمين فى نفس الشكل) ، وهى ذات جانب واحد ومنغلقة على نفسها دون أى انكسارات حادة • فاذا كان ذلك ممكن حدوثه على سطح ثنائى الأبعاد فيمكن أن يحدث أيضا على سطح ثلاثى الأبعاد بشرط أن يلتف بالطريقة المناسبة طبعا • وطبيعى أنه من الصعب أن نتخيل التفاف « موبيوس » فى الفضاء ، فنحن لا نستطيع أن نلقى نظرة على فضائنا من الخارج كما نظرنا الى ظل الحمار ، ومن الصعب دائما أن ترى الأشياء بوضوح عندما تكون فى وسطها على أن انغلاق الفضاء على نفسه والتفافه كما فى سطح موبيوس ليس بالأمر المستحيل •

ولو صح ذلك لكان معناه أن المسافر حول الكون سوف يعود أيسر الاتجاه ، بحيث يكون قلبه على اليمين ، وسوف يسهل على صانعى الأحذية والقفازات أن يستغلوا هذه الميزة بانتاج أحذية وقفازات ذات اتجـــاه واحد ، ثم شحن نصف هذا الانتاج فى دورة حول الكون حتى يعود مناسبا للنصف الثانى من الأحذية أو القفازات ٠

وبهذه الفكرة الخيالية نأتى الى ختام حديثنا عن الخواص غير العادية للفضاء غير المألوف ٠

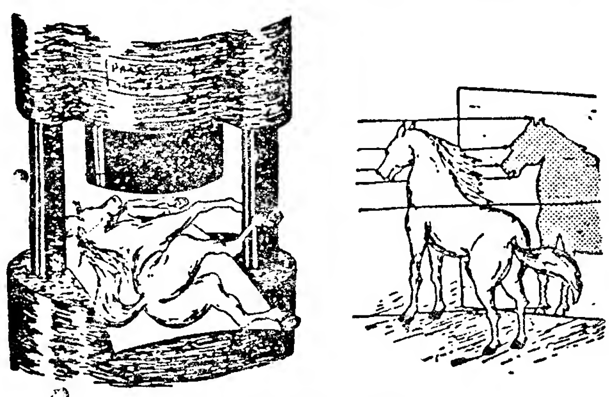
الفصل الرابع

العالم رباعى الأبعاد

١ ــ الزمن بعد رابع :

ان مفهوم البعد الرابع محاط دائما بالغموض وعدم اليقين ، فكيف نجرؤ نحن المخلوقات ذات الطول والعرض والسمك على أن نتحدث عن فضاء رباعى الأبعاد ؟ وهل يمكننا باستخدام كل طاقتنا الفكرية المبنية على الثلاثة أبعاد أن نتصور فضاء فوقيا ذا أربعة أبعاد ؟ .

وكيف يكون شكل مكعب أو كرة رباعية الأبعاد ؟ عندما نقول « تخيل » تنينا عملاقا ذا ذيل طويل مدرع ولهب ينبعث من فتحتى أنفه

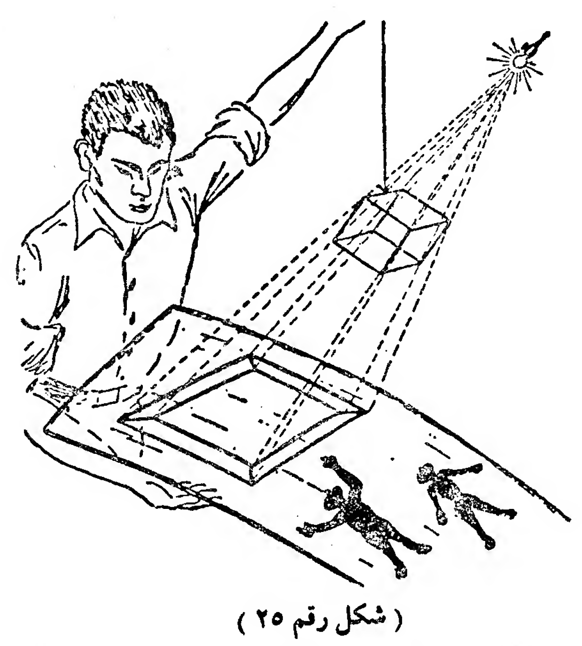


(شكل رقم ٢٤)

طريقة سليمة وطريقة خاطئة لـ « ضغط » جسم ثلاثى الأبعاد ليصبح ثنائى الأبعاد .

أو طائرة ضخمة بها حمام سباحة وملعبا تنس على الأجنحة ، فأننا نرسم صورة ذهنية لما يمكن أن تكون هذه الأشياء عليه اذا قدر وظهرت أمامنا . وأنت ترسم هذه الصورة بناء على خلفية من فضاء مألوف ثلاثى الأبعاد يحتوى على جميع الأشياء العادية بما فى ذلك أنت نفسك . واذا كان ذلك هو ما تنطوى عليه كلمة « تخيل » فلا عجب اذن أنه من المستحيل أن نتخيل جسما رباعى الأبعاد بناء على خلفية من فضاء ثلاثى الأبعاد وهو المألوف لديك . ومن المستحيل أن نحول جسما ثلاثى الأبعاد الى جسم مستو بالضغط . ولكن مهلا دقيقة واحدة ، فنحن نفعل ذلك بشكل ما حين نضغط الأجسام ونحولها الى أشكال مسطحة عند رسم صور لها وفى كل هذه الحالات ، لا نلجأ الى استعمال مكبس هيدرولى بالطبع ، أو غير ذلك من القوى التى تساعدنا فى تنفيذ هذه المهمة ، ولكننا نطبق الأسلوب المعروف « بالاسقاط الهندسى » أو رسم الظلال ، والفارق بين أسلوب ضغط الجسم (بالنسبة لحصان مثلا) يظهر فى الحال عند النظر الى شكل (٢٤) .

وقياسا على ذلك نستطيع الآن القول بأنه على الرغم من استحالة ضغط جسم رباعى الأبعاد فى فضاء ثلاثى الأبعاد دون أن تحدث به نتوءات



(شكل رقم ٢٥)

مخلوقات ثنائية الأبعاد تنظر فى دهشة الى ظل مكعب ثلاثى الأبعاد اسقط على سطحها .

فى بعض الأجزاء ، الا أنه من الممكن « اسقاط » الأشـــكال الرباعيـة المختلفة فى فضائنا المقتصر على ثلاثة أبعاد • ولكن على المرء أن يتذكر أن اسقاط الأجسام الرباعية الفوقية سوف يتم فى فضائنا المعتاد على شكل صور ثلاثية ، تماما كما تظهر ثلاثيات الأبعاد على الأسطح المنبسطة فى شكل ثنائى الأبعاد •

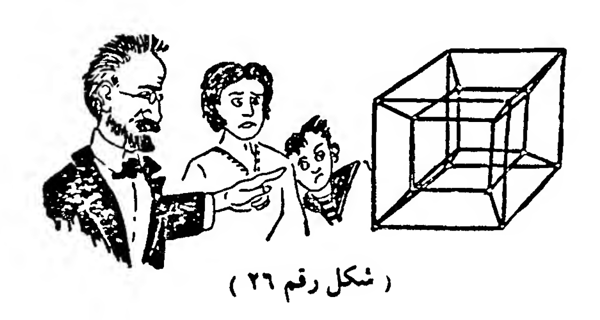
وحتى نزيد الأمر ايضاحا ، دعونا نفكر أولا فى كيفية تعبير الظلال الثنائية الأبعاد الموجودة على مسطح ما عن مكعب ثلاثى الأبعاد أصـــلا ، تستطيع تخيل ذلك بسهولة ، اذ طالما أننا من المخلوقات الثلاثية فنستطيع أن ننظر من أعلى (أى من موضع التفوق) أو من حيث العالم المتفـــوق الثلاثى على عالم أقل منه ثنائى • ولا يوجد أسلوب « لضغط » مكعب على سطح منبسط الا ذلك « الاسقاط » المبين فى شكل (٢٥) وعن طريق مشاهدة هذا الاسقاط وغيره من الاسقاطات الناشئة عن تحريك المكعب يمكن لسكان السطح المستوى أن يكونوا فكرة عن الخواص الغريبة لهذا الشكل الغريب المسمى « مكعب ثلاثى الأبعاد » • وهم بالطبع لن يتمكنوا من « القفز » خارج سطحهم والنظر الى المكعب كما ننظر اليه ، ولكن عن طريق ملاحظة الاسقاط نستطيع أن نقول ان بمقدورهم ، مثلا ، ادراك أن لهذا المكعب ثمانية رءوس واثنى عشر ضلعا • والآن انظر الشكل (٢٦) وسوف تجد نفسك فى نفس الموقف ، تماما كالمخلوقين الظليين المسكينين عند تفقدهما لمكعب ثلاثى الأبعاد منعكس على سطحهما • والحقيقة أن البناء المعقد والغريب الذى تفحصه هذه الأسرة بهذه الدهشة هو اســـقاط طبق الأصل لمكعب فوقى رباعى الأبعاد على فضائنا المعتاد (١) وافحص هذا الشكل بعناية وسوف تتعرف بسهولة على نفس الخواص تماما كما حدث مع هذين الفردين فى شكل (٢٥) : ففى حين أن اسقاط مكعب عادى على مستوى منبسط يظهر على هيئة مربعين أحدهما داخل الآخر ، بحيث تتصل رءوس كل منهما بالرءوس المقابلة فى الآخر ، فان اسقاط المكعب الفوقى على فضائنا يظهر على هيئة مكعبين أحدهما داخل الآخر ورءوسهما متصلة ببعضها بشكل مشابه • ويمكنك بسهولة عن طريق العد أن تتبين أن للمكعب الفوقى ١٦ رأسا و ٣٢ ضلعا و ٢٤ وجهـــا وهو مكعب تام أليس كذلك ؟

والآن لنر شكل الكرة الرباعية الأبعاد ، وحتى نفعـل ذلك فمن الأفضل أن نلجأ مرة أخرى الى حالة مألوفة ، وهى اسقاط كرة عادية على

---

(١) أو على الأصح ، يعبر شكل ٢٦ عن اسقاط هذا الكعب على ورقة من الكتاب المستوى ، وهذا الاسقاط ناشىء عن مكعب فوقى رباعى الأبعاد •

سطح مستو . ولنفكر مثلا فى كرة شفافة تحتوى على خريطة للقارات والمحيطات ومسقطة على حائط أبيض (شكل ٢٧) . وسوف يتداخل نصفا الكرة فى هذه الصورة بالطبع ، واذا حكمنا على المسافات منها ظن المرء أن المسافة بين نيويورك (الولايات المتحدة الأمريكية) « وبكين » (الصين) قصيرة جدا ولكن هذا مجرد انطباع ، والواقع أن كل نقطة على هذا الاسقاط انما تمثل فى الحقيقة نقطتين متقابلتين على الكرة الأصلية ، وبالتالى فان اسقاطا لطائرة مسافرة من نيويورك الى الصين على الكرة الأرضية سوف يتجه بطول الطريق حتى يصل الى حافة السطح المنبسط للاسقاط ، ثم يرجع هذه المسافة مرة أخرى . وعلى الرغم من أن اسقاط طائرتين فى نفس الوقت قد يظهر تداخلا بينهما الا أنه لن يكون هناك أن تصادم « فعلا » اذا كان كل منهما يطير فى النصف العكسى للكرة بالنسبة للآخر .

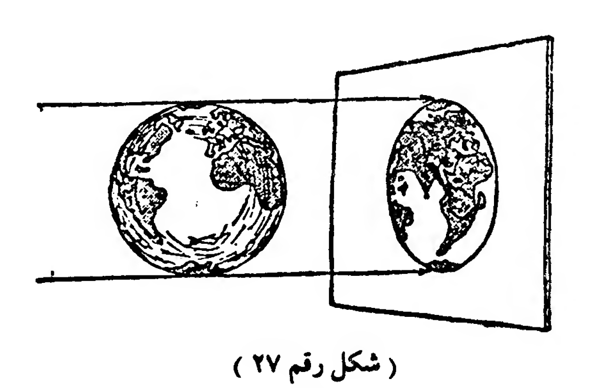


(شكل رقم ٢٦)

ان هذه الخواص تميز الاسقاط المستوى لكرة عادية ، فاذا ما استزدنا من ملكة الخيال أكثر من ذلك فلن نجد صعوبة فى تصور الاسقاط الفضائى لكرة رباعية ، وكما يظهر اسقاط الكرة العادية على سطح مستو على صورة دائرتين فوق بعضهما (نقطة فوق نقطة) ولا تتحد الدائرتان الا فى المحيط الخارجى ـ كذلك يمكن تخيل الاسقاط الفضائى لكرة فوقية من جسمين كرويين متداخلين وملتحمين على مستوى السطح الخارجى لكل منهما ، ولكنه سبق لنا أن ناقشنا فعلا تركيبة غير عادية ، وهى التى شرحناها فى الفصل السابق باعتبارها مثالا على فضاء ثلاثى أشبه بسطح كرة منغلق أيضا ، لذا فما علينا هنا الا اضافة أن الاسقاط ثلاثى الأبعاد لكرة رباعية لا يزيد على هاتين التفاحتين التوأمتين اللتين سبق لنا أن تحدثنا عن تداخلهما واتحادهما فقط عند القشرة .

وباستخدام القياس ، نستطيع الاجابة عن كثير من الأسئلة الاخرى بالنسبة لخواص الشكل الرباعى الأبعاد ، وذلك على الرغم من أننا مهما حاولنا لن نستطيع أن « نتخيل » اتجاها رابعا مستقلا فى فضائنا الطبيعى

ولكنك اذا أمعنت النظر أكثر من ذلك ، سوف تجد نفسك فى غير حاجة لأن تصبح صاحب قوى خفية حتى تتفهم مغزى البعد الرابع والحقيقة أن هناك كلمة يكاد أغلبنا يستعملها كل يوم للاشـــارة الى ما قد يعتبر (أو يجب أن يعتبر بالفعل) معبرا عن البعد الرابع المســـتقل فى عالمنا الطبيعى ، ونحن نقصد بذلك الزمان وهو ما يستعمل دائما مع المكان · لوصف الأحداث التى تجرى من حولنا · وعندما نتحدث عن أى واقعة تحدث فى الكون سواء كانت مقابلة صديق بالصـــــدفة فى الطريق ، أو انفجار نجم بعيد لا نقتصر عادة فى وصفها على مكان الحدوث ولكنا نذكر الزمن أيضا · وبذلك نضيف حقيقة جديدة وهى التاريخ الى ثلاث حقائق قديمة وهى الاتجاهات التى تحدد موقعنا فى المكان ·



(شكل رقم ٢٧)

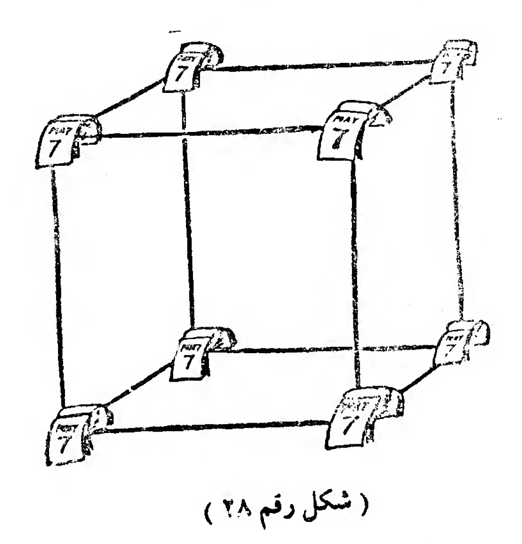
اسقاط منبسط للكرة الأرضية ·

واذا ما زدت الأمر بحثا ، أدركت بسهولة أن كل جسم طبيعى له أربعة أبعاد ، ثلاثة منها فى الفضاء والرابع فى الزمن · ولذا فان البيت الذى نسكنه يمتد فى طوله وعرضه وارتفاعه وأيضا فى الزمن · والامتداد الأخير له يقاس بتلك الفترة من الزمن التى مرت منذ بنائه حتى فنائه سواء بالحريق · أو الهدم ، أو الانهيار بعد فترة زمنية أطول ·

ومن المؤكد أن الاتجاه الزمنى لا يشبه تماما الاتجاهات الثـــلاثة الأخرى الفضائية · فالزمن يقاس بالساعة التى تعبر بدقاتها عن الثوانى والساعات بالمقارنة مع المسافات التى تقاس بالياردة (أو المتر) ، وذلك لقياس الطول والعرض والارتفاع ، فأنت لا تستطيع أن تحـــول العصا المترية الى ساعة لقياس فترة زمنية · وهناك اختلاف آخر ، ففى حين أنك تستطيع أن تتحرك للأمام ، أو الى اليمين ، أو الى أعلى فى الفضاء ثم تعود ثانية ، فانك لا تســـــتطيع التقهقر الى الوراء فى الزمن ، مما يجعلك لا تستطيع التحرك الا من الماضى للمستقبل · ولكن مع التسليم بـــكل

هذه الاختلافات بين الاتجاه الزمنى ، والاتجاهات الفضائية ، فلا يزال بمقدورنا أن نستخدم الزمن باعتباره الاتجاه الرابع فى أحداث عالمنا الطبيعى ، على ألا ننسى أنه يختلف عن بقية الاتجاهات ٠

وباختيار الزمن كبعد رابع سنجد أن تصور الأشكال الرباعية أصبح أبسط كثيرا مما كان عليه فى مستهل هذا الفصل ٠ هل تذكر مثلا ذلك الشكل الغريب الذى نتج عن اسقاط المكعب رباعى الأبعاد ، ستة عشر رأسا واثنان وثلاثون ضلعا ، وأربعة وعشرون وجها ! فلا عجب من أن يحملق الأشخاص فى شكل (٢٦) بدهشة فى هذا المخلوق الهندسى الغريب ، ومن وجهة نظرنا الجديدة ، نحن نعتبر المكعب رباعى الأبعاد مكعبا عاديا موجودا فى فترة زمنية معينة ٠ وافترض أنك بنيت مكعبا من اثنتى عشرة قطعة من الأسلاك المستقيمة وكان ذلك فى الأول من مايو ثم فككت هذا المكعب بعد شهر ، فلابد أن كل نقطة ركنية من هذا المكعب تعتبر حقا خطا ممتدا فى اتجاه الزمن بطول شهر واحد ٠وبوسعك أن تعلق تقويما زمنيا على كل رأس فى المكعب ثم تغير ورقة يوميا لبيان الزمن ٠



(شكل رقم ٢٨)

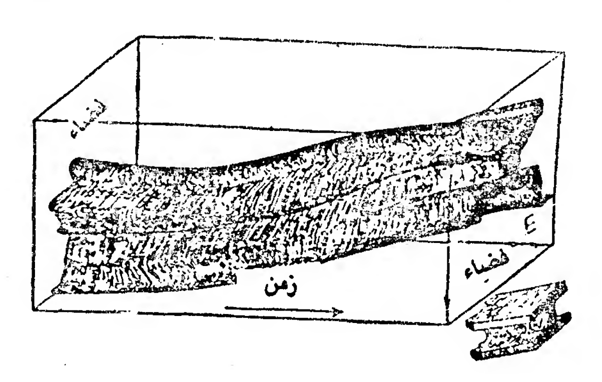
والآن من السهل أن تحصى عدد الأضلاع فى شكلنا رباعى الأبعاد ولديك فى الحقيقة اثنا عشر ضلعا عند بداية وجود المكعب ، وثمانية أضلاع « زمنية » تمثل عمر كل رأس من رءوسه ، ثم اثنا عشر ضلعا اضافية فى فترة نهاية عمر المكعب (٢) وهى تشكل مجتمعة اثنين وثلاثين ضلعا

(٢) ان لم تستوعب ذلك فكر فى المربع ذى الأربع نقاط الركنية ، والأربعة جوانب التى تحركها لمسافة معينة بشكل متعامد على سطحه (فى الاتجاه الثالث) ، تكون هذه المسافة مساوية لطول الضلع الواحد فى المربع ٠

وبنفس الطريقة نعد مجموع الرءوس فيصل الى ستة عشر رأسا وهى ثمانية رءوس فى ٧ مايو ، ثم نقيس هذه الرءوس فضائيا فى ٧ يونيو ، ونترك للقارىء عد الوجوه بحيث يكون تدريبا له على نفس الطريقة . وعندما نفعل ذلك لابد أن نتذكر أن بعض هذه الوجوه يعتبر وجوها أصلية للمكعب الأصلى ، بينما تعتبر الوجوه الأخرى « نصف فضائية ـ نصف زمنية » نشأت عن الأضلاع الرئيسية فى مكعبنا ممتدة من ٧ مايو حتى ٧ يونيو .

ان ما قلناه هنا عن المكعب رباعى الأبعاد يمكن تطبيقه بالطبع على أى شكل هندسى أو أى جسم مادى حيا كان أو ميتا .

وفكر فى نفسك خاصة كشكل رباعى الأبعاد ، أو نوع من المطاط الممتد فى الزمن لحظة ميلادك حتى نهاية عمرك الطبيعى . ومن سوء الحظ أنك لا تستطيع رسم أشياء رباعية الأبعاد على الورق ، ولذا فقد حاولنا فى شكل (٢٩) أن نوصل هذه الفكرة باستخدام مثال لرجل ظلى ، ثنائى الأبعاد بحيث يكون اتجاه الزمن واتجاه الفضاء عموديين على السطح ثنائى الأبعاد الذى استقر عليه . وتمثل الصورة مجرد جزء واحد من فترة العمر لرجل ظلى وفترة العمر الكلية لهذا الرجل الظلى لابد أن تمثلها قطعة أطول بكثير من المطاط ، وتكون أكثر استدقاقا فى بدايتها حيث الرجل فى طفولته يتعثر فى طريقه لفترة معينة فى حياته (النمو) ، ثم يكتسب حجما ثابتا عند وفاته (لأن الموتى لا يتحركون) ثم يبدأ فى التحلل .



(شكل رقم ٢٩)

ولكى نصبح أكثر دقة علينا أن نقول ان ذلك المطاط الرباعى الأبعاد يتكون من عدد كبير من الألياف المنفصلة يتركب كل منها من عدد من الذرات المنفصلة ، وتظل أغاب هذه الألياف متحدة معا كمجموعة واحدة عبر الحياة بينما يتساقط قليل منها ، مع تساقط الشعر وقص الأظافر .

ولما كانت الذرات لا تفنى ، فان تحلل جسم الانسان بعد الموت لابد أن ينظر اليه فى الواقع على أنه تناثر الخيوط المنفصلة فى جميع الاتجاهات (عدا تلك المكونة للعظام على الأرجح) ٠

وفى لغة الأربعة أبعاد المستخدمة فى الهندسة الفضائية ـ الزمنية يعرف الخط المعبر عن تاريخ كل ذرة مادية على حدة باسم « خط العالم » (*) ونستطيع بالمثل أن نتكلم عن « حزم العالم » المكونة من مجموعة تعطى شكلا مركبا أجزاؤه خطوط العالم ٠

ونرى فى شكل (٣٠) مثالا فلكيا يبين خطوط العالم للشمس ، والأرض وأحد المذنبات (٣) ٠ وقد استعنا هنا كما فى المثال السابق بفضاء ثنائى الأبعاد (مستوى مدار الأرض) وجعلنا اتجاه المحورين الزمنين متعامدا عليها ٠ ويمثل خط عالم الشمس فى هذا الشكل بخط مستقيم يوازى محور الزمن اذا اعتبرنا الشمس غير متحركة وخط (عالم) الأرض التى تتحرك فى مدار دائرى الى حد كبير يتمثل فى حلزون ملتف حول خط الشمس ، بينما يقترب خط المذنب من خط الشمس ثم يبتعد كثيرا عنه بعد ذلك ٠

وهكذا نرى أن (الطوبوغرافيا) وتاريخ الكون يمتزجان معا ـ من حيث هندسة الفضاء رباعى الأبعاد ـ فيقدمان لنا صورة متجانسة وكاملة ويكفينا النظر الى خطوط العالم التى تعرض لنا حركة الذرات ، أو الحيوانات ، أو النجوم كل على حدة لنخرج بفكرة متكاملة عن هذه الأشياء ٠

٢ ـ مقابلة بين الزمن والفضاء ٠٠

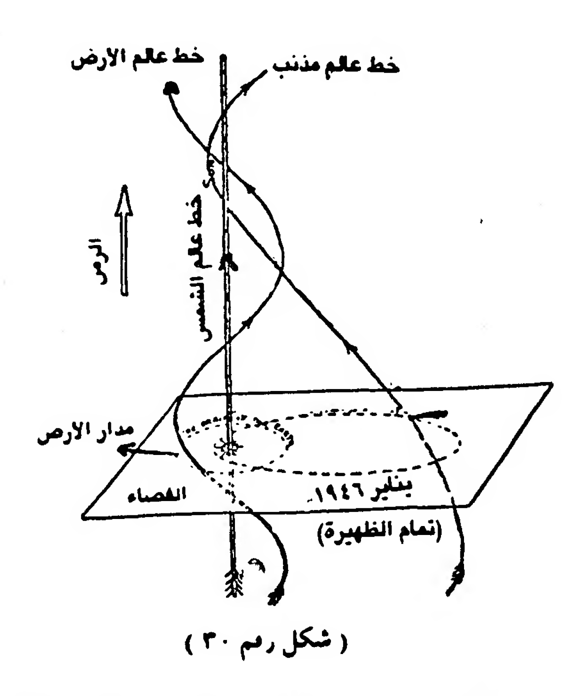
ان اعتبار الزمن بعدا رابعا مكافئا تقريبا للأبعاد الفضائية الثلاثة يؤدى بنا الى مواجهة مشكلة صعبة نوعا ما ٠ فعندما نقيس الطول ، أو العرض أو الارتفاع ، نستطيع فى جميع الحالات أن نستخدم القدم أو البوصة ، علينا أن نستخدم فى قياسنا للبعد الرابع وحدات تختلف

(*) أو الخط الكونى ٠

(٣) ومن الأنسب هنا أن نتحدث عن « حزم العالم » ولكن يمكن من وجهة نظر الفلك اعتبار النجوم والكواكب بمثابة نقاط ٠

(٤) والواقع أنها تتحرك بالنسبة للنجوم ، ولذا فبالرجوع الى النظام النجمى نجد أن خط العالم للشمس لابد أن يميل الى جانب واحد ميلا طفيفا ٠

كلية عن هذا ولتكن الدقائق أو الساعات ، فما وجه المقارنة بينها ؟ اذا تصورنا مكعبا رباعى الأبعاد تبلغ قياساته الفضائية متر × متر × متر ، فما المدة التى يلزم لهذا المكعب أن يمتد بها فى الفضاء حتى تتساوى جميع الأبعاد ؟ ثانية أم ساعة أم شهر كما افترضنا فى مثالنا السابق ؟ وهل الساعة الواحدة أطول أم أقصر من المتر الواحد ؟



(شكل رقم ٣٠)

قد يبدو السؤال غير معقول لأول وهلة ، ولكنك اذا أمعنت النظر فيه ستجد أسلوبا منطقيا يمكن به تحويل الفضـــاء الى زمن • وكثيرا ما تسمع أن شخصا ما « يسكن على بعد عشر دقائق بالاتوبيس من وسط المدينة » أو أن مكانا ما « لا يبعد أكثر من خمس ساعات ونحن نحـــدد المسافة هنا بالوقت اللازم لقطعها باستخدام وسيلة انتقال معينة •

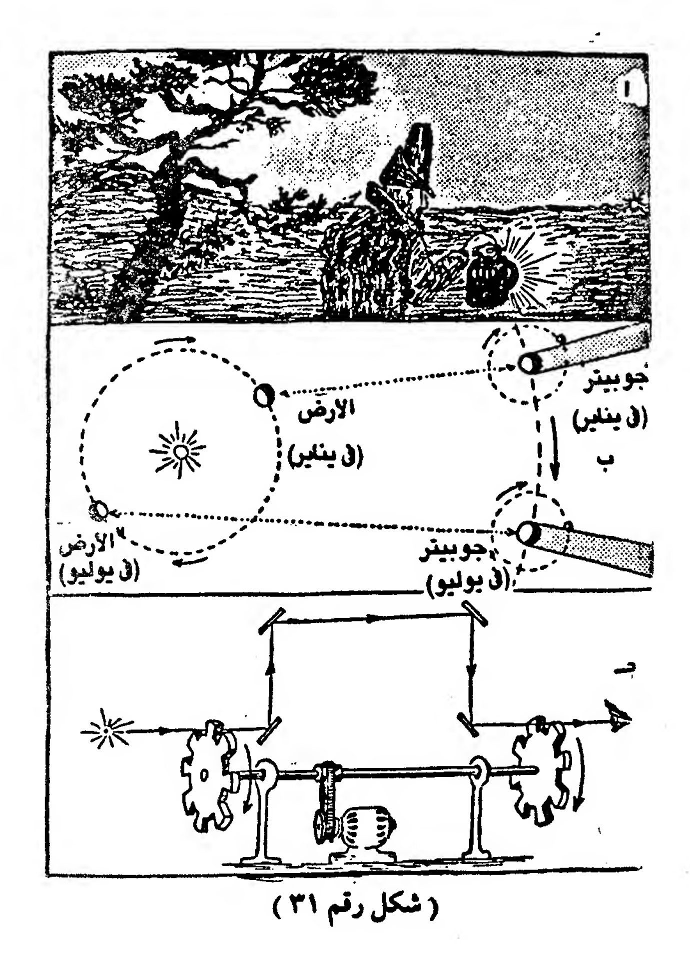
لذا ان استطعنا الاتفاق على سرعة معيارية سوف نتمكن من التعبير عن الفترات الزمنية بوحدات طولية أو العكس •

ويتضح لنا بالطبع أن السرعة المعيارية التى تصلح للاختيار كمعامل أساسى للتحويل من الفضاء الى الزمن لابد أن تكون ذات طبيعة منتظمة بصفة عامة وخاصة ، وأن تظل ثابتة لا تخضع لتأثير الانسان أو ظروف الطبيعة • والسرعة الوحيدة المعروفة فى الطبيعة بامتلاك هذه الخاصية هى سرعة الضوء عندما ينتقل فى الفضاء الخالى ، وعلى الرغم من أنهـــا

تعرف عادة « بسرعة الضوء » الا أن الأفضل أن تسمى « سرعة انتشار التفاعلات الطبيعية » اذ ان أيا من القوى العاملة بين الأجسام المادية سواء كانت قوى الجذب الكهربائى أو الجاذبية تنتشر فى الفضاء الخالى بنفس معدل سرعة الضوء . بالاضافة الى أن سرعة الضوء هى الحد الأقصى لأى سرعة مادية ممكنة ، ولا يمكن لأى شىء أن ينتقل فى الفضاء بسرعة أعلى منها ، كما سنرى فيما بعد وقد قام العالم الايطالى الشهير « جاليليو جاليلى » بأول محاولة لقياس سرعة الضوء فى القرن السابع عشر . ففى ليلة مظلمة ذهب جاليليو مع مساعده الى أرض مفتوحة بالقرب من فلورنسا ومعه فانوسان مجهزان بمفتاح اغلاق ميكانيكى . واحتل الاثنان موقعهما على بعد عدة أميال من بعضهما ، وفى لحظة معينة أضاء جاليليو فانوسه مرسلا شعاعا فى اتجاه مساعده (شكل ٣١ أ) . وقد كان لدى الآخر توجيه بأن يفتح النور بمجرد أن يرى الاشارة الضوئية الصادرة من جاليليو . وحيث ان الضوء استغرق وقتا معينا فى الانتقال من جاليليو الى مساعده ثم الى جاليليو مرة أخرى ، فقد كان من المتوقع أن تمر فترة ما بين اللحظة التى يفتح فيها « جاليليو » الاضاءة واللحظة التى يستقبل فيها الرد الآتى من المساعد وقد لوحظ مرور فترة زمنية قصيرة بالفعل ، ولكن عندما أبعد « جاليليو » مساعده الى مسافة تساوى ضعفى المسافة الأولى وكرر التجربة لم يلحظ أى زيادة فى الفترة عن المرة السابقة . وواضح أن الضوء قد انتقل بسرعة كبيرة جدا الى درجة أنه عمليا لم يستغرق وقتا فى قطع بضعة أميال زائدة . وقد كانت الفترة التى سجلها « جاليليو » فى التجربة الأولى نتيجة تأخر مساعده فى فتح فانوسه فى نفس اللحظة التى رأى فيها الضوء ـ وهى زمن رد الفعل كما نعرفه الآن .

وعلى الرغم من أن محاولة « جاليليو » لم تسفر عن نتيجة ايجابية ولكن أحد اكتشافاته وهو بالتحديد اكتشاف أقمار « المشترى » (جوبيتر) أدى الى توفير الأساس الذى اعتمدت عليه أول محاولة لقياس سرعة الضوء فعليا . وفى عام ١٦٧٥ عندما كان العالم الفلكى الدنماركى « رومر » Roemer يراقب خسوف أقمار المشترى لاحظ أن الفترات الزمنية التى يستغرقها القمر فى الاختفاء الكلى تحت ظلال الكواكب لا تتساوى فى كل مرة ، فأحيانا تبدو أقصر وأحيانا تكون أطول وذلك وفقا للمسافة بين المشترى والأرض فى لحظة وقد أدرك « رومر » فى الحال (كما سوف يتبين لك بعد فحص شكل ٣١) أن هذا التأثير ليس ناتجا عن انتظام فى حركة أقمار المشترى ، ولكنه يرجع ببساطة الى أننا نرى هذه الخسوفات بعد فترات زمنية متفاوتة بسبب تفاوت المسافات بين « المشترى » والأرض فى كل مرة . وبفضل الملاحظة أصبح بمقدورنا التوصل الى أن

سرعة الضوء تبلغ حوالى ۱۸٦٫۰۰۰* ميل فى الثانية ٠ علا عجب اذن أن « جاليليو » فشل فى قياس سرعة الضوء اذ أن الوقت الذى استغرقته الاشارة فى الانتقال منه الى مساعده ثم اليه مرة أخرى لا يزيد على جزء من مئات آلاف الأجزاء من الثانية ٠



(شكل رقم ٣١)

ولكن ما عجز عنه « جاليليو » باستخدام فانوسه البدائى الآلى الاغلاق أمكن القيام به باستخدام أدوات معملية أكثر تطورا ٠ وفى شكل (٣١ جـ) نرى هذا الجهاز الذى كان العالم الفيزيقى الفرنسى « فيزو » Fizeau أول من استخدمه لقياس سرعة الضوء فى مسافات قصيرة نسبيا ويتكون الجزء الرئيسى لهذا الجهاز من عجلتين مسننتين ، وهاتان العجلتان مركبتان على محور مشترك بحيث اذا نظرت الى احداهما

(★) ثبت الآن أن سرعة الضوء الحقيقية هى ١٨٦٫٢٨٢ ميلا/ث (المترجم) ٠

فى خط مواز للمحور ترى سنون العجلة الأخرى تملأ المسافات بين سنى العجلة الأولى · ولهذا اذا أرسلنا شعاعا من الضوء بموازاة المحور فلن يستطيع المرور من الترسين مهما كان وضعهما · والآن لنفرض أن هاتين العجلتين مركبتان على محور دوران سريع · ولما كان ارسال شعاع دقيق بين نتوءين فى العجلة الأولى لابد من أن يستغرق وقتا قبل أن يصل الى العجلة الثانية ، فمن الممكن أن يمر الضوء من العجلة الثانية اذا تحركت فى نفس هذا الوقت بمقدار نصف المسافة بين النتوءين وهذه الحالة تشبه الى حد ما حالة سيارة تمشى بسرعة مناسبة فى طريق مجهز بنظام من اشارات الوقوف الأتوماتية المتزامنة فاذا تضاعفت سرعة العجلتين ، سيرجع النتوء الى مكانه فى الوقت الذى يصل الضوء اليه وبالتالى يتوقف تقدم هذا الشعاع · ولكن مع زيادة السرعة (*) سيتمكن الضوء من المرور ثانية اذ أن النتوء سوف يكون قد انزاح من طريق الشعاع الضوئى ، وبذا فان الحركة التالية سوف تسمح بازاحة النتوء من طريق الشعاع بحيث يتمكن من المرور وهكذا بملاحظة سرعة الدوران الموافقة لظهور واختفاء الضوء يستطيع المرء أن يقدر سرعة مرور الضوء فى انتقاله بين العجلتين وعملا على زيادة التشويق وتقليل سرعة الدوران اللازمة ، تستطيع أن تجعل الضوء يقطع مسافة أطول فى المرور بين العجلتين باستخدام المرايا كما يتضح من شكل (٣١ ج) · وفى هذه التجربة وجد « فيزو » أنه استطاع أن يرى الضوء أول مرة من المسافات البينية القريبة منه عندما كانت سرعة الدوران تعادل ١٠٠٠ دورة فى الثانية وقد أثبتت ذلك أنه عند هذه السرعة تحركت النتوءات (السنون) نصف المسافة بينها فى فترة زمنية كافية لانتقال الضوء بين العجلتين · ولما كانت كل عجلة بها ٥٠ نتوءا متماثلا فان نصف المسافة بين نتوءين يعادل $\frac{1}{100}$ من طول محيط العجلة ، ووقت الانتقال يساوى نفس الوقت الذى استغرقته العجلة فى دورة كاملة · وبضرب هذه الأرقام فى المسافة التى يقطعها الضوء من عجلة الى أخرى وصل « فيزو » الى أن سرعة الضوء هى ٣٠٠ر٠٠٠ كم أو ، ١٨٦ر٠٠٠ ميل فى الثانية · وهى تقريبا نفس السرعة التى حسبها « رومر » من مشاهدته لأقمار المشترى ·

واقتداء بتجارب هؤلاء الرواد حدثت بعد ذلك قياسات عديدة مستقلة اعتمدت على الفيزياء والفلك · ويعتبر أفضل مقاس معروف لسرعة انتشار الضوء فى الفضاء (ويرمز اليه بحرف (حـ) هو :

حـ = ٢٩٩ر٧٧٦ كم/ثانية أو ١٨٦ر٣٠٠ ميل/ثانية

(*) تذكر أن السرعة الاولى كانت كفيلة بانتقال النتوء نصف المسافة بينه وبين النتوء الآخر · ولذا فان مضاعفة السرعة تجعله يتحرك مسافة كاملة فيحجب الضوء · المترجم

ويمكن باستخدام هذه السرعة الرهيبة ايجاد معيـــار ملائم يمكن بواسطته التعبير عن المسافات الفلكية المتناهية البعد والتى نحتاج للتعبير عنها بالكيلومتر أو الميل الى أرقام قد تملأ صفحات هذا الكتاب عن آخره ، فيقول علماء الفلك ان بعد ذلك النجم خمس « سنين ضوئية » تماما كما نقول نحن عن بلد معين انه على بعد (٥) ساعات بالقطار ، فالسنة الضوئية* تساوى ٣١ر٥٥٨ر٠٠٠ × ٢٩٩ر٧٧٦ = ٩ر٤٦ × $١٠^{١٢}$ كم أو ٥ر٨٧٩ × $١٠^{١٢}$ ميلا باعتبــار أن السنة العادية تحتوى على ٣١ر٥٥٨ر٠٠٠ ثانية : وباستخدام مصطلح « السنوات الضوئية » فى قياس المسافات • أصبح لدينا اعتراف عملى بأن الضوء بعد رابع ، واعتراف بأن وحدات الزمن تصلح لقياس المسافة • ويمكن أن نعكس هذا الاجراء أيضا بالحديث عن « الأميال الضوئية » ونعنى بها الوقت الذى يحتاجه الضوء فى قطع مسافة ميل واحد • وباستخدام السرعة السابق الاشارة اليها نجد أن الميــل الضوئى يساوى ٥ر٤ × $١٠^{-٦}$ ثانية وأن « القدم الضـــــوئى » يساو ١ر١ × $١٠^{-٩}$ ثانية وهذا كفيل بالاجابة عن سؤالنا الخاص بمكعب رباعى الأبعاد طول ضلعه قدم ، فان البعد الرابع لابد ألا يزيد على $١٠^{-٩}$ (حتى يكون مكعبا فعلا) واذا دام وجود المكعب لمدة شهر مثلا يتحول الى قضيب رباعى الأبعاد يمتد مسافة كبيرة على محور الزمن وليس مكعبا •

٣ ـ المسافة رباعية الأبعاد :

بالاجابة على السؤال الخاص بالوحدات المقارنة الواجب استعمالها فى الفضاء وعلى محور الزمن ، نستطيع الآن أن نسأل أنفسنا سؤالا عما يفهم من تعبير « المسافة بين نقطتين فى فضاء زمنى رباعى الأبعاد » • ويجب أن نتذكر أن كل نقطة فى هذه الحالة تعبر عما يعرف عادة بـ « **الحدث** » وهى التوليفة المكونة من المكان والتاريخ الزمنى • وحتى نوضح الأمر لنناقش الحدثين التاليين على سبيل المثال :

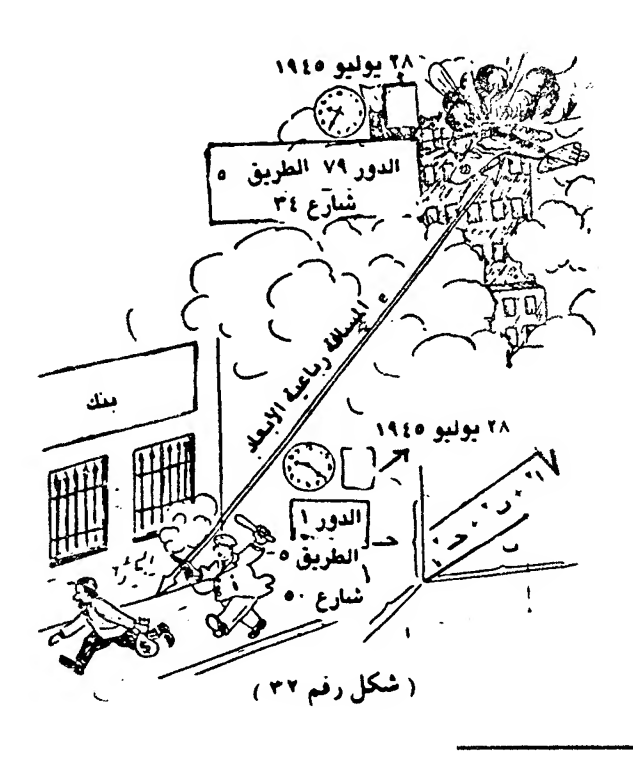
الحدث (١) :

تعرض مصرف يقع فى الطابق الأول من مبنى على ناصية شارع ، لحادث سطو فى الساعة ٩ر٢١ صباحا يوم ٢٨ يوليو •

الحدث (٢) :

فقدت طائرة حربية فى شبورة واصطدمت بالطابق التاسع من عمارة قريبة فى تمام الساعة ٩ر٣٦ صباحا من نفس اليوم •

والمسافة الفاصلة بين هذين الحدثين فى الفضاء هى ١٦ مبنى شمالا ـ جنوبا و ½ مبنى فى اتجاه شرق ـ غرب ، و ٧٨ طابقا من حيث الاتجاه العمودى والفاصل الزمنى بينهما ١٥ دقيقة . وواضح أنه ليس من الضرورى أن نشير الى عدد المبانى بالكامل وعدد طوابقها عند وصف المسافة الفاصلة فضائيا بين الشارعين ، حيث نستطيع أن ندمجهما فى مسافة واحدة مستقيمة بناء على نظرية فيثاغورث المشهورة ، والتى تنص على أن المسافة بين نقطتين فى الفضاء تساوى الجذر التربيعى لحاصل جمع الضلعين المتعامدين بينهما (*) (شكل ٢٢ فى الركن) . وحتى نطبق نظرية فيثاغورث ينبغى علينا بالطبع أن نستعمل وحدات متشابهة مثل الأقدام فى قياس جميع المسافات فاذا كان بعد المبنى شمالا ـ جنوبا ، وبعده شرقا ـ غربا يساوى ٨٠٠ قدم ، ومتوسط ارتفاع الطابق فى « العمارة » ١٢ قدما أو حوالى ٣٫٥ أمتار فان قيمة الاحداثيات تصبح ٣٢٠٠ قدم فى الاتجاه الشمالى ـ الجنوبى و (٤٠٠) قدم فى الاتجاه الغربى ـ الشرقى ، و ٩٣٦ قدم فى الاتجاه الرأسى . وباستخدام نظرية فيثاغورث تصبح المسافة المباشرة بين الموقعين :



(شكل رقم ٣٢)

(*) أو الاحداثيات المتعامدة ككل ان كانت تزيد على اثنين (المترجم) .

$$\sqrt{(٣٢٠٠)^٢ + (٤٠٠)^٢ + (٩٣٦)^٢} =$$

$$= \sqrt{١١٫٢٨٠٫٠٠٠} = ٣٣٦٠ \text{ قدم}$$

وعندما تكون فكرة الزمن الممثل للبعد الرابع صالحة للتطبيق يصبح بمقدورنا أن نحول الرقم ٣٣٦٠ قدم الى الزمن ١٥ دقيقة فنعنى بذلك أن هذا هو الفاصل الزمنى بين الحدثين حتى يكون لدينا رقم واحد يعبر عن **المسافة رباعية الأبعاد** بين الحدثين ٠



(شكل رقم ٣٣)

لم ينجح بروفسور « اينشتين » اطلاقا فى أن يفعل ذلك ولكنه نجح فى القيام بما هو افضل بكثير ٠

ووفقا لفكرة « أينشتين » الأصلية نستطيع فعلا **أن نحدد مثل هذه المسافة رباعية الأبعاد بتعميم بسيط لقاعدة « فيثاغورث » ، وتؤدى هذه المسافة الناتجة دورا أكثر أهمية فى العلاقة الفيزيائية من دور الفاصلين الزمانى والمكانى كل على حدة ٠**

فاذا وحدنا البيانات الفضائية مع الزمنية ينبغى بالطبع أن نستخدم وحدات قياس موحدة كالقدم الذى استخدمناه فى تحديد ارتفاع المبانى وأبعادها ، وكما رأينا من قبل أن ذلك ممكن بسهولة باستخدام سرعة الضوء كمعامل تحويل وبذلك تتحول ال (١٥) دقيقة الى ٨ × ١١١٠ (قدم ضوئى) ٠ وباستخدام قاعدة فيثاغورث البسيطة نستطيع الآن أن نحدد المسافة بين نقطتين فى فضاء رباعى باعتباره الجذر التربيعى لحاصل جمع مربعات الاحداثيات ، وهى ثلاثة احداثيات فضائية واحداثى زمانى ٠

ولكن حتى ننجح فى ذلك ينبغى علينا أن **نستبعد أى فارق بين الفضاء** والزمن ، مما يترتب عليه التسليم **بامكانية تحويل القياسات الفضائية** الى قياسات زمنية والعكس بالعكس •

ومع ذلك لم ينجح أحد ـ حتى أينشتين العظيم ـ فى أن يحول العصا المترية الى منبه عن طريق اخفائها تحت قطعــــة قماش وترديد بعض العبارات السحرية مثل « هوكس فوكس بوكس » (شكل ٣٣) •

لهذا اذا كنا سنعترف بالزمن والفضاء معـــا **فى نظرية فيثاغورث** فلابد أن يتم ذلك بأسلوب غير تقليدى الى حد ما بحيث نبقى على بعض الفروق الطبيعية بينهما •

وقد رأى أينشتين ، أن الفارق الطبيعى بين المســـافات الفضائية والفترات الزمنية يمكن اظهاره فى معادلة قاعدة فيثــــاغورث عن طريق استخدام **علاقة سالبة** أمام مربع الاحداثى الزمنى • وبذا يمكن تعريف المسافة رباعية الأبعاد بين حدثين على النحو التالى :

هى الجذر التربيعى لمجموع مربعات ثلاثة احداثيات فراغية ناقص مربع الاحداثى الزمنى • وذلك طبعا بعد التعبير عنه بوحدات فراغيـــة وهكذا يمكن حساب المسافة رباعية الأبعاد بين حادثى السطو على البنك واصطدام الطائرة كما يلى :

√ (٣٢٠٠)² + (٤٠٠)² + (٩٣٦)² − (٨ × ١١١٠)²

وارتفاع قيمة الحد الرابع الى درجة كبيرة بالنسبة لباقى الحدود مرده الى أن هذا المثال مأخوذ من الحياة العادية وبمقاييسها المعتادة حيث تكون وحدات الزمن صغيرة جدا فاذا ما تعرضنا لحدثين يقعان فى الكون الضخم بدلا من القاهرة الصغيرة نسبيا وجب علينا استخدام وحدات أكثر اتساقا مع بعضها • لذا نختار تفجير القنبلة الذرية الذى تم فى « بكيتى آتول » فى تمام الساعة ٩ صباحا يوم ١ يوليو ١٩٤٦ ، أما الحدث الثانى فليكن سقوط نيزك على سطح المريخ فى نفس اليوم بعد عشر دقائق •

اذن فالفترة الزمنية البينية هى ٤ر٥ × ١١١٠ قدم ضوئى بالنسبة الى المسافة الفضائية وهى ٥ر٦ × ١١١٠ قدم ضوئى تقريبا وفى هذه الحالة تصبح المسافة رباعية الأبعاد بين الحدثين هى :

√ (٥ر٦ × ١١١٠)² − (٤ر٥ × ١١١٠)² قدم = ٣ر٦ × ١١١٠ قدم •

وهى قيمة مختلفة رقميا تماما عن قيمة الزمن على حدة والفضاء على حدة وربما اعترض شخص منطقى ، بالطبع ، على هذه الهندسة غير العقلانية

فى ظاهرها فنحن هنا نتعامل مع احداثى واحد لطريقة مختلفة عن الثلاثة احداثيات الأخرى ولكن ينبغى ألا ننسى أن أى نظام حسابى يوضع لوصف العالم الطبيعى لابد من أن يصاغ بحيث يتلائم مع الأشياء وطالما أن الفضاء والزمن يختلف سلوك كل منهما عن الآخر فى هذه المعادلة فلابد من صياغة الهندسة رباعية الأبعاد بناء على ذلك وهناك بالاضافة الى ذلك علاج حسابى بسيط يمكن أن يجعل هندسة أينشتين الرباعية تشبه تماما الهندسة الاقليدية المنطقية كما درسناها فى المدرسة · وقد اقترح هذا العلاج الرياضى الألمانى « منكوفسكى » وهو يكمن فى اعتبار الاحداثى الرابع قيمة تخيلية محضة وربما تتذكر من الفصل الثانى فى هذا الكتاب أن بمقدور المرء أن يحول رقما عاديا الى رقم تخيلى بضربه فى √ – ١ وأن هذا الرقم التخيلى يمكن استخدامه بسهولة شديدة فى حل مشكلات هندسية ووفقا لرأى « منكوفسكى » لابد من ضرب الزمن بعد تحويله الى وحدات فضائية فى √ – ١ ، حتى يمكن اعتباره احداثيا رابعا وبذلك تصبح الاحداثيات الأربعة فى المثال الأول كما يلى :

الاحداثى الأول : ٣٢٠٠ قدم

الاحداثى الثانى : ٤٠٠ قدم

الاحداثى الثالث : ٩٣٦ قدم

الاحداثى الرابع : ٨ × ١١١٠ × ت قدم ضوئى ·

ونستطيع الآن تعريف المسافة رباعية الأبعاد بأنها الجذر التربيعى لمجموع مربعات الاحداثيات الأربعة مرة أخرى · وفى الواقع طالما أن مربع الرقم التخيلى يكون سالبا دائما فان التعبير عن احداثيات « منكوفسكى » باستخدام نظرية فيثاغورث سوف يكون مكافئا للتعبير عن احداثيات أينشتين باستخدام نظرية فيثاغورث وهو ما كان يبدو غير منطقى وهناك قصة عن رجل كبير فى السن أصابه الروماتيزم فسأل صديقا له يتمتع بصحة جيدة عن سر نجاته من هذا المرض ، فأجاب الصديق « لأننى حريص على الاستحمام بدش بارد كل صباح » فأجاب الرجل متعجبا : « يا الهى ······ اذن فعليك أن تعانى من ويلات الماء البارد ، لتنجو من آلام الروماتيزم !! » ·

نعم ·· اذا كانت نظرية فيثاغورث الشبيهة بالروماتيزم لا تعجبك تستطيع اذن أن تستعمل دش الاحداثى الزمنى التخيلى بدلا منها ·

وتدفعنا الطبيعة التخيلية للاحداثى الرابع فى عالم « الزمن والمكان » تدفعنا الى التعامل مع نمطين من الفواصل رباعية الأبعاد مختلفين فيزيائيا ·

والحقيقة أننا فى بعض الحالات مثل التى شرحناها آنفا (مثل حادثة السرقة والصدام) حيث كانت المسافة ثلاثية الأبعاد صغيرة من الناحية العددية بالنسبة للفترة الزمنية (مع استخدام وحدات مناسبة) تصبح قيمة ما تحت علامة الجذر سالبة وهكذا نحصل على عدد تخيلى للفاصل العام رباعى الأبعاد ، ومع ذلك نجد فى حالات أخرى أن الفترة الزمنية أقل من المسافة الفضائية ، وهكذا نحصل على رقم موجب تحت علامة الجذر ، وهذا يعنى بالطبع أنه فى مثل هذه الحالات يكون الفاصل الرباعى الأبعاد بين الحدثين حقيقيا ٠

ولكن كما قلنا من قبل تعتبر المسافات الفضائية حقيقية فى حين تعتبر الفترات الزمنية تخيلية تماما ، ونستطيع القول ان الفاصل الرباعى الأحداث الحقيقى تكون علاقته أقوى بالمسافات الفضائية العادية ، أما الفاصل الرباعى الأحداث التخيلى فهو أقرب الى الفترات الزمنية ٠ ووفقا لمصطلحات « منكوفسكى » (Minkovsky) يطلق على النوع الأول فضائى Raumartig (*) والفاصل الرباعى من النوع الثانى زمانى (Zeitartig) (*) ٠

وسوف نرى فى الجزء القادم أن الفاصل الفضائى يمكن تحويله الى مسافة عادية وأن الفاصل الزمنى يمكن تحويله الى فترات بينية عادية ومع ذلك فان الفكرة التى مؤداها أن أحدهما يعبر عنه باستخدام عدد حقيقى بينما يعبر عن الآخر باستخدام رقم تخيلى تمثل عقبة لا يمكن تخطيها عند محاولة تحويل أحدهما الى الآخر بحيث تعتبر فى النهاية ضربا من المستحيل أشبه بتحويل عصا مترية الى منبه أو العكس ٠

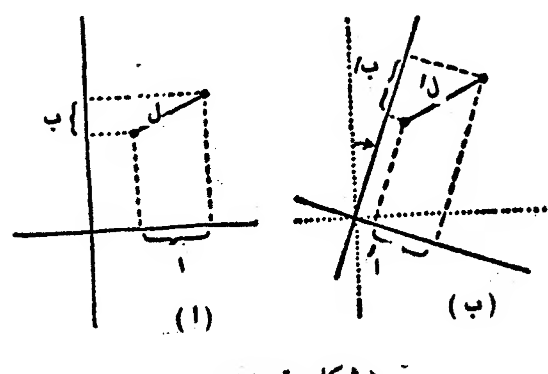
(*) باللغة الألمانية (المترجم) ٠

الفصل الخامس

نسبية الزمن والفضاء (*)

١ ـ تحويل الفضاء الى زمن والعكس :

على الرغم من أن المحاولات الرياضية لاثبات وحدة الفضاء والزمن فى عالم رباعى الأبعاد لم تنجح فى طمس الفارق تماما بين المسافة والزمن الا أنها قد كشفت بالفعل عن درجة كبيرة من التشابه بين المفهومين ، وهذا أمر لم يكن واضحا اطلاقا فى فيزياء ما قبل أينشتين . **والواقع أن المسافات الفضائية والفترات الزمنية الفاصلة بين الأحداث المختلفة يجب النظر اليها الآن باعتبارها مجرد اسقاطات للفاصل الأساسى رباعى الأبعاد بينها على محورى الفضاء والزمن ، لذا فان تدوير المحور الرباعى المتعامد قد يؤدى الى تحويل المسافات الى فترات جزئيا والعكس بالعكس .** ولكن ما معنى تدوير المحور الفضائى الزمنى الرباعى الأبعاد ؟ .



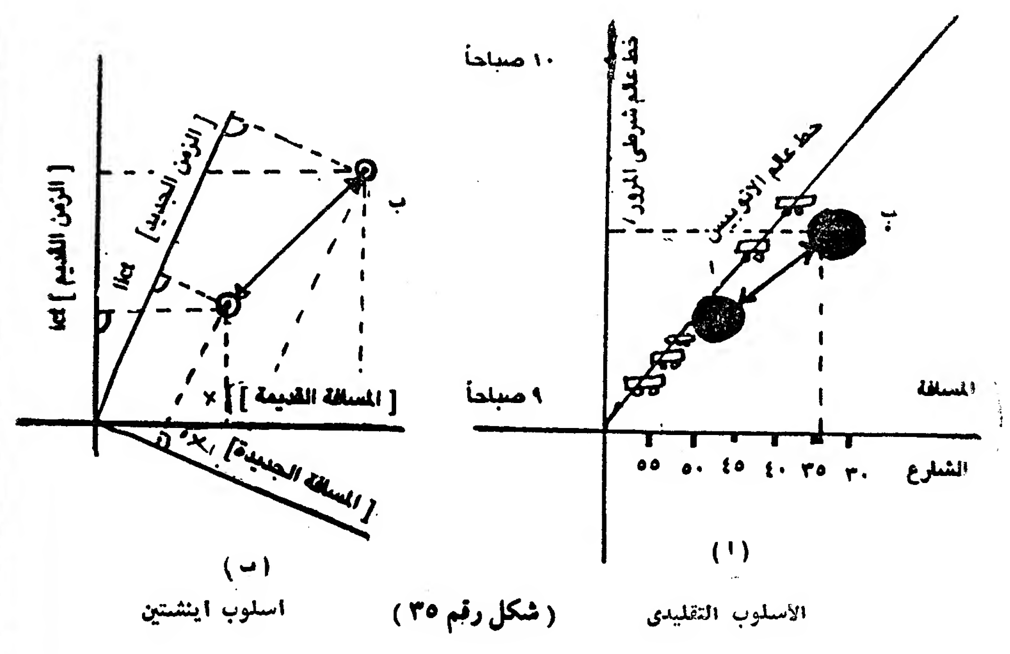
(شكل رقم ٣٤)

(*) يلاحظ أن كلمة space يمكن أن تترجم بالفضاء والفراغ والمكان ، وقد استخدمت فى هذا الفصل كلمة فضاء لتدل على هذه الكلمات الثلاث مجتمعة كمقابل للزمن . (المترجم) .

لنبدأ أولا بمحورين متعامدين مؤلف من احداثيين فضائيين (انظر الشكل ٣٤ أ) وافترض أن لدينا نقطتين محددتين تبعـــدان عن بعضهما بمسافة ولتكن ل٠ وباسقاط هذه المسافة على المحورين المتعامدين نجد أن الفاصل بين النقطتين يساوى (أ) قدم على المحور الأول و (ب) قدم على المحور الثانى ٠ فاذا دار المحوران بزاوية معينة (شكل ٣٤ ب) فان اسقاط نفس المسافة على المحورين الجديدين ، سيتغير ، وسيأخذ الاسقاطان الجديدان قيمتين مختلفتين هما أَ ، بً ٠ ومع ذلك فوفقا لنظرية فيثاغورث ، يبقى الجذر التربيعى لمجموع مربعى الاسقاطين بنفس القيمة اذ أنه يعبر عن المسافة الفعلية بين النقطتين ، فهذه المسافة لا تتأثر بتدوير المحورين

$$\therefore \sqrt{\text{أ}^{2} + \text{ب}^{2}} = \sqrt{\text{أ}'^{2} + \text{ب}'^{2}} = \text{ل}$$

ونقول ان الجذر التربيعى لمجموع المربعين لا يتأثر فى هذه العملية أى « لا متغير » أو « لازم » (invariant) بينما تتغير قيم الاســـقاطات وحدها ذلك أنها قيم اتفاقية (incidental) تتوقف على نوع نظام الاحداثيات المختار ٠



(ا) الأسلوب التقليدى — (ب) اسلوب اينشتين

(شكل رقم ٣٥)

والآن ننتقل الى دراسة احداثيين (محورين) متعامدين يمثل أحدهما المسافة ويمثل الآخر الزمن ٠ وفى هذه الحالة يحل الحدثان محل النقطتين فى مثالنا السابق ، ويعبر الاسقاطان على المحورين عن الفاصل بينهما فى

الفضاء والزمن على الترتيب . وبأخذ حادثى السطو وتحطم الطائرة السابق ذكرهما يمكننا أن نضع رسما بيانيا (شكل ٣٥ أ) يشبه الى حد كبير الرسم البيانى السابق (شكل ٣٤ أ) ، والآن ماذا نفعل لكى ندير المحورين المتعامدين ؟ والاجابة على هذا السؤال غير متوقعة بالمرة بل انها تبعث على العجب .

فاذا أردت أن تدير محورى الفضاء ـ الزمن اركب أتوبيسا !! ليكن .. افترض أنك ركبت فعلا فى الدور العلوى لأتوبيس يتحرك فى الشارع الذى شهد الحادثين ، صباح يوم ٢٨ يوليو المشئوم (من وجهة نظرنا الخاصة) من الطبيعى أن تولى اهتمامك الرئيسى لمدى بعد الاتوبيس عن مكان وقوع الحادثين (السطو واصطدام الطائرة) ولو لمعرفة امكانية مشاهدة الحادثين من ذلك المكان على الأقل .

فاذا نظرت الى شكل (٣٥ أ) الذى يبين التتابع فى مسار خط الأتوبيس فضلا عن حادثى السطو والاصطدام ستلاحظ أن هذه المسافات تختلف عن المسافات التى قد يسجلها مثلا شرطى مرور من الناصية . وحيث ان الاتوبيس يقطع طريقه فى الشارع بسرعة مبنى كل ثلاث دقائق مثلا (وهو أمر غير مستغرب فى مرور المدينة المزدحم !) ، فان الفاصل الفضائى بين الحدثين كما يرى من الاتوبيس يبدو أصغر . ولما كان الاتوبيس بصدد عبور الشارع الذى شهد حادثة السطو فى الساعة ٢١ر٩ فان حادث السطو الذى وقع فى هذه اللحظة كان بعد بنايتين منه . وفى الوقت الذى وقعت فيه حادثة الطائرة (٣٦ر٩ صباحا) كان الاتوبيس فى الشارع الذى وقعت فيه حادثة الطائرة ، أى على بعد ١٣ بناية من مسرح الحادث . وهكذا بقياس المسافة بالنسبة للاتوبيس نجد أن البعد الفضائى بين السطو وحادث الطائرة = ١٣ − ٢ = ١١ مبنى ، وهذا يختلف عن قياس المسافة بالنسبة لمبانى المدينة ٥٠ − ٣٤ = ١٦ مبنى . ونظرة ثانية على الشكل (٣٥ أ) تبين لنا أن المسافة المأخوذة من الأتوبيس لا يجب أن تقاس من المحور الرأسى (حيث خط العالم لرجل الشرطة الواقف ، كما فى المثال السابق ، بل من الخط المائل المعبر عن خط عالم الاتوبيس اذن فهذا الخط هو محور الزمن الجديد .

ونخرج من هذا الهراء بنتيجة واحدة تتلخص فى الآتى : لرسم شكل بيانى (فضائى ـ زمنى) للأحداث وفقا لرؤيتها من سيارة متحركة ، لابد من تدوير محور الزمن بزاوية معينة (تعتمد على سرعة هذه السيارة) بشرط عدم المساس بمحور الفضاء .

وعلى الرغم من أن الفيزيقيين الكلاسيكيين ينظرون الى هذه الجملة باعتبارها أمرا بديهيا ، ويعتبرونها من « الفطرة السليمة » الا أنها

تتعارض مباشرة مع أفكارنا الجديدة فيما يتعلق بالعالم الفضائى الزمنى الرباعى الأبعاد . فاذا كان الزمن حقا هو الاحداثى المستقل الرابع فلابد أن يتعامد محوره دائما على الثلاثة محاور الفضائية سواء أكان جلوسنا فى الاتوبيس أم فى التروللى أم على الرصيف ! .

يجب أن نختار بين أسلوبين من أساليب التفكير فاما أن نبقى على الفكر الكلاسيكى مضحين فى ذلك بأى دراسة متقدمة فى هندسة توحيد الفضاء والزمن ، واما أن نهجر هذه الأفكار التى تمليها علينا « الفطرة السليمة » ونسلم بضرورة تدوير محور الفضاء أيضا مع محور الزمن فى الرسم البيانى حتى يظل المحوران متعامدين دائما مع بعضهما (شكل ٣٥ ب) وبالنسبة للملاحظة من سيارة متحركة فان دوران محور الفضاء يعنى أن الفاصل الزمنى بين الحدثين من السيارة يختلف عن الفاصل الزمنى بينهما بالنسبة لشخص يقف فى نقطة ثابتة على الأرض . تماما كما كان دوران محور الزمن سببا من الناحية الفيزيقية فى اختلاف قيمة الفاصل الفضائى بين حدثين (١١ ، ١٦ مبنى فى المثال السابق) . لذا فاذا كان الفاصل بين السطو على البنك وحادث الطائرة ١٥ دقيقة طبقا لساعة ميـــدان المدينة ، فان هذا الوقت سيختلف فى ساعة راكب الاتوبيس — لا لأن هناك عطلا فى احدى الساعتين أو اختلافا فى معدليهما ، ولكن لأن الوقت نفسه يمر بمعدلات مختلفة فى السيارات التى تتحرك بسرعات مختلفة ، ولأن النظام الفعلى لتسجيل الوقت يتأخر بالمثل . وذلك على الرغم من أن الفارق يكون ضئيلا جدا لدرجة ألا نشعر به فى السرعات المنخفضة كسرعة الاتوبيس (سوف نناقش هذه الظاهرة باستفاضة فى هـــذا الفصل) .

وكمثال آخر دعنا نفكر فى رجل يتناول عشاءه فى عربة قطـــار يتحرك وهو بالنسبة للجرسون ، ومن وجهة نظره ، يتناول المشـــهيات والحلوى فى نفس مكانه (المائدة الثالثة بجانب النافذة) ولكن من وجهة نظر عاملى تحويلة واقفين عند نقطتين ثابتتين على شريط السكة الحـديد وينظران الى العربة من خلال نافذتها ، فسوف يراه أحدهما يتنـــاول المشهيات ويراه الآخر يتناول الحلوى — وهذان الحدثان يقعان بالنسبة لهما على بعد أميال عديدة من بعضهما . لذا بمقدورنا أن نقول ان حدثين يقعان فى نفس المكان ، ولكن فى لحظتين مختلفتين من وجهة نظر مشاهد واحد ، سوف يعتبران كما لو كانا واقعين فى مكانين مختلفين اذا شوهدا من قبل مشاهدين آخرين فى حالة أو حالات مختلفة من الحركة .

وعملا على الوصول الى المقابلة المنشودة بين الفضاء والزمن لنستخدم فى العبارة السابقة كلمة « مكان » بدلا من « لحظة » والعكس بالعكس وسوف نقرأ الجملة كما يلى :

ان حدثين يقعـــان فى نفس اللحظة ، ولكن فى مكانين مختلفين **من وجهة نظر مشاهد واحد سوف يعتبران كما لو كانا واقعين فى لحظتين مختلفتين اذا شاهدهما مشاهد آخر فى حالة مختلفة من الحركة ٠**

وتطبيقا على مثال عربة العشاء ٠ لابد من أن نتوقع أنه فى حين أن الجرسون سيقسم أن راكبين جالسين مقابل بعضهما فى نهاية العربة قد أشعلا سيجارة بعد العشاء فى نفس اللحظة تماما فان عامل التحويلة الواقف على شريط السكة الحديدية والناظر من خلال النافذة (دون أن يتحرك) أثناء مرور القطار أمامه سوف **يصر على** أن أحدهما قد أشعل سيجارته قبل الآخر ٠

اذن فان حدثين متزامنين ـ من وجهة نظر أحد المشاهدين ـ سوف يعتبران ـ من وجهة نظر مشاهد آخر ـ منفصلين بفترة زمنية معينة ٠

وهذه هى النتائج الحتمية للهندسة رباعية الأبعاد والتى لا يزيد الزمن والفضاء فيها على كونهما اسقاطين لفاصل ثابت رباعى الأبعاد على محورين متقابلين ٠

٢ ـ رياح الأثير ، ورحلة الشعرى اليمانية :

ولنسأل أنفسنا الآن ٠٠ هل مجرد الرغبة فى استخدام الهندسة رباعية الأبعاد تبرر هذا التغيير الثورى فى أفكارنا التى اطمأنت اليهـــا أنفسنا عن الفضاء والزمن ؟

وبالنسبة لنا فالاجابة هى نعم ٠٠ فنحن نتحدى النظـــام الفيزيقى الكلاسيكى بأكمله ، الذى يقوم على التعريفات التى وضعها العالم العظيم « اسحق نيوتن » منذ قرنين ونصف : « الفضاء المطلق فى حد ذاته ودون علاقة بأى مؤثر خارجى ـ هو فضاء متجانس وثابت دائما » وكذا « الزمن المطلق المحسوب رياضيا هو بطبيعته وفى حد ذاته زمن يمر بانتظام وليس له علاقة بأى مؤثر خارجى » ٠ وعندما كتب « نيوتن » هذه السطور لم يخطر بباله طبعا أنه قد أضاف شيئا أو طرح موضوعا قابلا للجدل ، فما زاد على أن صاغ بلغة دقيقة مفاهيم الزمن والفضاء كما تتضح لأى شخص بالحس الفطرى ٠ والحق أن الايمان بسلامة هذه الأفكار التقليدية عن الفضاء والزمن كان ايمانا مطلقا حتى ان الفلاســـفة اعتبروها من

المسلمات ، ولم يسبق لعالم (ناهيك عن الرجل العادى) أن ناقش امكانية خطأ هذه الأفكار وبالتالى حاجتها الى اعادة النظر والتقييم من جديد ٠

اذن فقد كان التخلى عن الأفكار الكلاسيكية عن الزمن والفضاء ، والتوجه الى فكرة اتحادهما معا فى صورة رباعية الأبعاد ضرورة لم تفرضها علينا رغبة « أينشتين » فى توحيدهما ولا عبقريته الرياضية واصراره ، ولكن فرضتها الحقائق العنيدة التى تفجرت من البحث العلمى الواحدة تلو الأخرى ، وأبت أن تنصاع الى الصورة الكلاسيكية عن استقلالية الزمن والمكان عن بعضهما ٠

وقد كان أول زلزال هز صروح الفيزياء الكلاسيكية ودكها دكا ، كما تهاوت جدران « أريحا » أمام صوت نفير « يوشع » ٠ الا أن الزلزال فى هذه المرة كان تجربة بسيطة تمت على يدى فيزيائى أمريكى هو « أ٠أ مايكلسون » Michelson عام ١٨٨٧ ٠ وقد كانت فكرة « مايكلسون » بسيطة للغاية ، وتقوم على تصور فيزيقى للضوء باعتباره نوعا من الحركات الموجية التى تنتقل عبر ما يطلق عليه « الأثير الحامل للضوء » وهى مادة مفترضة تملأ الفضاء النجمى بشكل متجانس كما تتخلل الفواصل بين الذرات فى الأجسام المادية ٠

ألق حجرا فى مستنقع وسوف تجد الموجات تنتشر حوله فى كافة الاتجاهات ٠ وكذا يكون الضوء المنبعث من أى جسد لامع على هيئة موجات ، وبالمثل الصوت الناتج عن شوكه رنانة مهتزة ٠ ولكن فى حين أن الموجات السطحية تعبر بوضوح عن حركة جزيئات الماء والموجات الصوتية عن ذبذبات الهواء أو المواد الأخرى التى ينتقل الصوت من خلالها ، فاننا لا نعلم أى وسيط مادى مسئول عن حمل الموجات الضوئية ٠ والحق أن الفضاء الذى ينتقل الضوء خلاله بسهولة شديدة (بالمقارنة مع الصوت) هو فضاء خال تماما !

ولما كان من غير المنطقى فيما يبدو أن نتحدث عن تذبذب شيء فى الوقت الذى لايوجد فيه هذا الشيء أصلا ، فقد كان على علماء الفيزياء أن يستحدثوا مفهوما جديدا وهو « الأثير (ether) الحامل للضوء » وذلك لتوفير فاعل مادى للفعل « يتذبذب » ٠ ومن وجهة نظر قواعد اللغة البحتة التى تستلزم أن يكون لكل فعل فاعل لا يمكن الاعتراض على وجود « الأثير الحامل للضوء » ولكن ـ ضع ما تشاء من الخطوط تحت « لكن » هذه ـ قواعد اللغة لا يمكن أن تصف لنا الخواص الطبيعية للكلمات التى يجب استخدامها لبناء جملة صحيحة ! ٠

(*) أثبت أينشتين فيما بعد خطأ هذا الافتراض (المترجم) ٠

واذا قلنا ان الضوء ينتقل عبر الأثير الضوئى معرفين هذا الأثير بأنه الوسط الذى تنتقل خلاله الموجات الضوئية فاننا بذلك نطرح أمرا مسلما به ، ولكننا لا نأتى بجديد · فاكتشاف ماهية الأثير الضوئى أمر يختلف تماما عن اكتشاف خواصه وهنا لن تجدى الاستعانة بقواعد اللغـــة (ولو كانت الفصحى !) ولابد للجواب أن يأتى من علم الفيزياء ·

وكما سوف نرى فى سياق المناقشة التالية ، ان أفدح أخطاء فيزياء القرن التاسع عشر انما تكمن فى الافتراض بأن هذا الأثير الضوئى له خواص شبيهة جدا بخواص المواد الطبيعية المألوفة لنا ، اذ اعتاد العلماء آنذاك على الحديث عن المرونة ، والصلابة ، والخواص المطاطية ، بل وعن الاحتكاك الداخلى للأثير الضوئى ، ومن قبيل ذلك مقارنتهم لسلوك الأثير الضوئى بسلوك المواد الصلبة المتذبذبة عند حمله للموجات الضوئية (١) ، هذا من جهة . ومن جهة أخرى اعتبروه مادة كاملة المرونة عديمة المقاومة لحركة الأجسام الكونية وشبهوه ببعض المواد مثل شمع الأختام · فشمع الأختام ـ وغير ذلك من المواد الشبيهة به ـ معروف بصلابته وسهولة انكساره تحت تأثير القوى السريعة ذات الطبيعة الميكانيكية ، ولكنه ينساب كالعسل بفعل وزنه اذا ترك بمعزل عن غيره لفترة كافية · ونتيجة لهذا القياس افترضت الفيزياء الكلاسيكية أن الأثير الضوئى الذى يملأ فضاء الكون يسلك سلوك الأجسام الصلبة مع الحركة السريعة جدا التى تصاحب انتشار الضوء ، ولكنه يسلك سلوك السائل تماما ، عندما تشـــق الكواكب والنجوم طريقها فيه بسرعة أقل من سرعة الضـــــوء بآلاف المرات ·

وسرعان ما تبين العلماء خطأ تلك الافتراضات التى سعت الى تفسير طبيعة مادة مجهولة لا نعرف عنها سوى اسمها باعمال الخيـال ومقارنتها ببعض خواص المواد المألوفة لنا · ورغم كثرة المحاولات الا أنها أسفرت عن استحالة تقديم أى تفسير مقبول لهذا الحامل للضوئى الغامض وخواصه الميكانيكية ·

أما الآن ، وفى ضوء علوم العصر ، نستطيع أن نصل بسهولة الى موضع الخطأ فى تلك المحاولات · فمن المعروف أن كافة الخواص الميكانيكية للمواد العادية يمكن ارجاعها الى التفاعل بين ذرات هذه المواد · فعلى سبيل المثال تعتمد سيولة الماء ، ومرونة المطاط ، وصلادة الماس على أن جزيئات

---

(١) بالنسبه للموجات الضوئية ثبت أن الذبذبات تكون عمودية على اتجاه حركتها وفى المواد العادية لا يحدث هذا النوع من الذبذبات الا فى الأجسام الصلبة · بينما لا يمكن للجزيئات أن تتحرك الا فى اتجاه سير الموجة بالنسبة للسوائل والمواد الغازية ·

الماء يمكنها أن تنزلق على بعضها دون احتكاك شديد بينما يمكن لجزيئات المطاط أن تغير شكلها بسهولة ، أما الماس فترتبط جزيئات بلوراته فيما بينها بروابط قوية مما يجعلها فى النهاية مادة شديدة الصلادة • وهكذا فان كل الخواص الميكانيكية المعروفة للمواد المختلفة تعتمد على بنائهـــا الذرى ، ولكن هذه القاعدة لا قيمة لها ونحن بصدد مادة مطلقة متصلة مثل الأثير الضوئى كما نعرفه •

فالأثير الضوئى يعد من المواد الغريبة فى نوعها ، اذ انها لا تشبه هذا البناء الذرى المتراص الذى نطلق عليه عادة كلمة مادة ، ونستطيع أن نطلق على الأثير الضوئى كلمة « مادة » (بشرط عدم استخدام هذه الكلمة الا باعتبارها الفاعل لغويا لكلمة « يهتز ») ولكننا نستطيع أن نسميها « فضاء » وأن نضع فى اعتبارنا ـ كما رأينا من قبل وكما سنرى فيما بعد ـ أن الفضاء قد يمتلك خواصا معينة سواء من ناحية الشكل أو البنية تجعله شيئا أكثر تعقيدا من مفهوم الفضاء فى الهندسة الاقليدية والواقع أن مصطلح « الأثير الضوئى » (المأخوذ عن الخواص الميكانيكية المزعومة له) ومصـــطلح « الفضـــاء الفيزيقى » يعتبران مرادفين لنفس الشىء •

ولكننا بذلك نكون قد حدنا كثيرا عن هدفنا الى التحليل الفلسفى أو الذهنى للأثير الضوئى ، ولابد لنا من العودة ثانية الى موضوع تجربة « مايكلسون » وفكرة هذه التجربة بسيطة للغاية كما أشرنا من قبل • فاذا كان الضوء يمثل الموجات التى تنتقل عبر الأثير ، فلابد أن سرعة الضوء المسجلة على الأرض قد تأثرت بحركة هذه الأرض فى الفضـــاء • وبوقوفنا على الأرض التى تتحرك فى المدار الخاص بها حول الشمس لابد من أن نشعر « برياح الأثير » تماما كما يحس الواقف على ظهر السفينة بحركة الريح التى تهب على وجهه ، على الرغم من أن الجو قد يكون غاية فى الهدوء • ونحن لا نشعر بالطبع برياح الأثير طالما أنه يفترض قدرتها على المرور من بين ذرات أجسامنا دون أى صـــعوبة ولكن لابد من أننا نستطيع أن نكتشف وجود الرياح الأثيرية بقياس سرعة الضوء فى مختلف الاتجاهات بالنسبة لحركتنا •

وكلنا يفهم أن سرعة الصوت تزيد كثيرا فى اتجاه الريح عنها عندما تكون عكس اتجاهه ، وطبيعى أن نفس الشىء ينطبق على انتشار الضوء فى اتجاه الرياح الأثيرية وعكس هذا الاتجاه • وأسهل الطرق لتحقيق ذلك هو طبعا أن نأخذ جهاز قياس سرعة الضوء الذى وصـــفناه من قبـــل (شكل ٣١) فنجرى عليه سلسلة من التجارب فى اتجاهات مختلفة •

على أن ذلك لا يعتبر أسلوبا منطقيا جدا فى هذا المجال ، ذلك أنه يستلزم توفير درجة عالية جدا من الدقة فى كل مرة · والحقيقة أنه طالما كان الاختلاف المتوقع (والمساوى لسرعة الأرض) لا يزيد على جزء من مئة جزء من الثانية من سرعة الضوء ، فلابد من القيام بكل تجربة على حدة مع توفير درجة عالية من الدقة واذا كان لديك « عصوان » من نفس الطول تقريبا ، وأردت معرفة الاختلاف فى طوليهما بدقة يمكنك أن تفعل ذلك بسهولة عن طريق وضعهما بجانب بعضهما وقياس الفارق عند أحد الطرفين ·

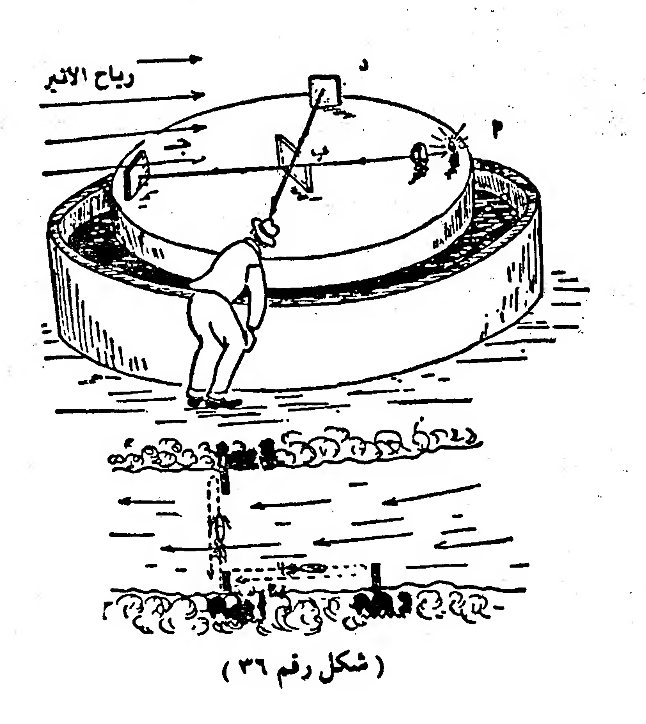
وتعرف هذه الطريقة بطريقة « نقطة الصفر » ·

ويستفيد جهاز « مايكلسون » الموضح فى شكل (٣٦) من طريقة نقطة الصفر فى المقارنة بين سرعتى الضوء فى مستويين متعامدين على بعضهما ·

والجزء الأوسط فى هذا الجهاز عبارة عن لوح زجاجى (ب) مغطى بطبقة نصف شفافة من الفضة ، وهى تعكس ٥٠٪ من الضوء الساقط عليها وتمر منها ال ٥٠٪ الباقية · ولذا فان شعاع الضوء الصادر من المصدر (أ) ينقسم الى جزأين متساويين يمران فى مسارين متوازيين · ثم ينعكس الشعاعان من المرآتين (ج) و (د) الموضوعتين على مسافتين متساويتين من اللوح الزجاجى ويرتدان مرة أخرى اليها · فأما الشعاع المنعكس عن (د) فيمر نصفه من الطبقة الفضية الرقيقة ليتحد مع الشعاع المنعكس عن (ج) جزئيا بفعل نفس هذه الطبقة · وهكذا يتحد الشعاعان اللذان انفصلا فى البداية لتستقبلهما عين المشاهد وكأنهما شعاع واحد · ولما كان علم البصريات يتضمن قانونا مشهورا يقضى بأن الشعاعين يتداخلان وينشأ عن ذلك شبكة من الهدب المظلمة والمضيئة المرئية بالعين ، بحيث اذا كانت المسافة (ب د) تساوى المسافة (ب ج) مما يجعل الشعاعين يصلان الى اللوح (ب) فى نفس اللحظة ـ فان الجزء المضىء لابد أن يتوسط الصورة · أما اذا اختلفت المسافتان اختلافا طفيفا بحيث يتأخر أحد الشعاعين عن الآخر فان الهدب المضيئة تنحرف اما يمينا واما يسارا ·

ولما كان الجهاز موضوعا على سطح الأرض التى تتحرك فى الفضاء بسرعة فمن المتوقع أن تهب رياح الأثير على الجهاز بنفس سرعة حركة الأرض ونفترض مثلا أن هذه الرياح تتجه من ب الى ج (كما نرى فى شكل ٣٦) فما تأثير ذلك على سرعة الشعاعين ؟ وما تأثيره أيضا على وقت وصول كل منهما الى نقطة الالتقاء ؟

تذكر أن أحدهما ينتقـــل فى البداية ضد اتجاه الريح ثم يعـود معها ، أما الآخر فيسير متعامدا على الريح فى الذهاب والاياب فأيهما يصل أولا ؟



(شكل رقم ٣٦)

تخيل نهرا يجرى فيه قارب بموتور ضد التيار من رصيف (١) الى رصيف (٢) ثم يعود ثانية الى رصيف (١) . فالتيار يعوق حركته فى الجزء الأول من الرحلة ثم يزيد سرعته فى طريق العودة . وربما ظننت أن هذا يعوض ذاك ، ولكن هذا غير صحيح . وحتى نوضح ذلك افرض أن القارب يتحرك بسرعة تساوى سرعة التيار . وفى هذه الحالة لن يتمكن القارب من التحرك من رصيف (١) والوصول الى رصيف (٢) اطلاقا ! . ومن السهل أن نفهم أن وجود التيار يعوق حركة القارب زمنيا بمعـامل معين وقدره :

$$\frac{١}{١ - \left(\frac{س}{ع}\right)^{٢}}$$

وهو معامل واحد فى كل الحالات حيث (س) سرعة القارب و (س َ) سرعة التيار (٢) . فاذا كان القارب مثلا يتحرك بأسرع من سرعة التيار عشرة مرات فان رحلة العودة تستغرق :

$$\frac{١}{١ - (\frac{١}{١٠})^{٢}} = \frac{١}{١ - ٠١ر} = \frac{١}{٩٩ر} = ١٠١ر١ \text{ ضعفا} .$$

وهذا يعنى أن المدة تزيد بـ ٠١ر من زمن الرحلة أصـــلا لو كان القارب يبحر فى ماء ساكن .

وبطريقة مشابهة يمكن أيضا حساب التأخير فى رحلة القارب بعرض النهر ذهابا وايابا ، ويكون فى هذه المرة ناشئا عن سير القارب فى اتجاه جانبى قليلا حتى يعوض دفع التيار له فى رحلته من رصـــيف (١) الى رصيف (٢) ، وفى هذه الحالة يكون التأخير أقل الى حد ما ويمكن حسابه من المعامل :

$$\sqrt{\frac{١}{١ - (\frac{\text{س}'}{\text{س}})^{٢}}}$$

أى أنه يساوى ٠٠٥ر (½٪) من المثال السابق ، والبرهان على هذا القانون بسيط للغاية ، لذا نتركه لذكاء القارىء والآن استبدل بالنهر رياح الأثير وبالقارب موجات الضوء ، وبالرصيفين المرآتين الموضوعتين عند الأطراف فتتضح لك أخيرا خطة تجربة « مايكلســـون » . لأن شعاع الضوء المنتقل من (ب) الى (ج) ثم الى (ب) مرة أخرى سيتأخر وفقـــا للقانون :

---

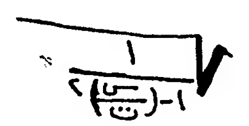
(٢) بأخذ المقدار (ط) كمسافة بين رصيف (١) ورصيف (٢) ، وتذكر أن سرعة القارب مع التيار = س + س َ وضد التيار = س - س َ فيكون زمن الرحلة الكلية =

$$= \frac{\text{ط}}{\text{س} + \text{س}'} + \frac{\text{ط}}{\text{س} - \text{س}'} = \frac{٢ \text{ س ط}}{(\text{س}^{٢} - \text{س}'^{٢})}$$

$$= \frac{٢ \text{ ط}}{\text{س}} \times \frac{١}{١ - (\frac{\text{س}'}{\text{س}})^{٢}}$$

$$\sqrt{1-\left(\frac{س}{ت}\right)^2} \quad (\star)$$

حيث ت هى سرعة الضوء فى الأثير · بينما يكون التأخير فى رحلته من (ب) الى (د) ذهابا وايابا بالعامل :



وحيث ان سرعة رياح الأثير تساوى سرعة الأرض وهى ٣٠ كم/ث ، وسرعة الضوء = ٣ × ١٠° كم/ث فان الشعاعين يتأخران بنسبة ١٠ر ، ٠٠٥ر فى المائة على الترتيب ويصبح من السهل ملاحظة الفرق بين سرعة شعاع ضوئى يسير فى اتجاه رياح الأثير ، وآخر يسير عموديا عليهـــا باستخدام جهاز مايكلسون ·

ولك أن تتخيل دهشة « مايكلسون » بعد ذلك عندما قام بالتجربة ووجد نفسه عاجزا عن ملاحظة أدنى انحراف فى الهدب المتداخلة ·

ويتضح أن رياح الأثير لم تؤثر على سرعة الضوء فى حركته معـا ولا متعامدا عليها ·

وقد ذهل « مايكلسون » ولم يصدق نفسه فى البداية ، ولكن الشك تحول الى يقين بعد اعادة التجربة بدقة شديدة فذهل مرة أخرى عنــدما تأكد من صحة نتيجة التجربة الأولى ، ولم يكن هناك الا تفسير واحــد معقول لهذا ، وهو افتراض جرىء مؤداه أن تلك المائدة الحجرية التى ثبت عليها « مايكلسون » الجهاز قد انكمشت بقدر ضئيل (وتعرف هذه الظاهرة بانكماش فيتز جيرالد (٣) Fitz Gerald Contraction نتيجـــة لحركة

($\star$) فى الأصل $1 - \left(\frac{V}{c}\right)$

(٣) تخليدا لاسم أول عالم طبيعة استحدث هذا المفهوم واعتبره من الآثار الميكانيكية البحتة للحركة

الأرض فى الفضاء · والواقع أن الانكماش فى المسافة من (ب) الى (ج) يتم بمعامل :

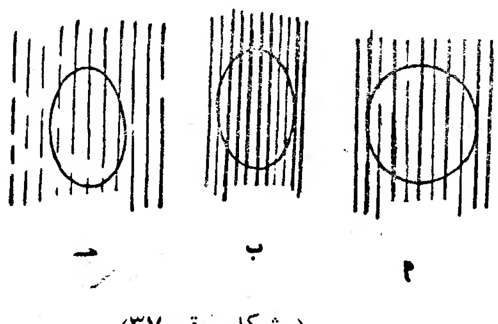
$$\sqrt{1 - \frac{س^{2}}{ت^{2}}}$$

بينما تبقى المسـافة من (ب) الى (د) كما هى ولذا يتساوى الشعاعان فى التأخير وبالتالى لا تتأثر المجموعة الهدبية ·

ولكن اقتراح فكرة انكماش مائدة « مايكلسون » كان أمرا والاقتناع بامكانيتها أمر آخر ، صحيح أننا نتوقع بعض الانكماش فى الأجسـام المادية عند حركتها فى وسط مقاوم لهذه الحركة : والقارب المنطلق بسرعة فى بحيرة مثلا ينضغط قليلا تحت تأثير القوة الدافعة للمحرك من جهة ، ومقاومة التيار لمقدمته من الجهة الأخرى · ولكن حجم هـذا الانكماش الميكانيكى يتوقف على مقاومة المادة المصنوع منها القارب فانكماش القارب المعدنى يكون أقل من انكماش القارب الخشـبى · ولكن الفروق فى الانكماش التى أدت الى النتائج السلبية لتجربة « مايكلسون » تتوقف فقط على سرعة الحركة ولا تتأثر أبدا بمقاومة الجسم المتحرك · ولو كانت المائدة التى تعلوها المرايا مصنوعة من مادة أخرى غير الحجارة مثل الحديد الزهر ، أو الخشب أو غيرها من المواد لما اختلف حجم الانكماش فى أى من هذه الحالات عن الأخرى : وهكذا يتضح لنا أننا نتعامل هنا مع **قوة ذات تأثير عام** تسبب انكماش جميع الأجسام المتحركة بنفس الدرجة تماما ، أو كما قال « أينشتين » فى وصفه للظاهرة عام ١٩٠٤ ، **نحن هنا نتعامل** مع ظاهرة **انكماش الفضاء ذاته ، حيث تنكمش جميع الأجسام المتحركة فيه بنفس السرعة بنفس الطريقة وذلك ببساطة لأنها موجودة فى هذا الفضاء المنكمش** ·

ولقد ذكرنا فى الفصلين الأخيرين عن خواص الفضاء ما يكفى لجعل العبارة السابقة تبدو معقولة · وحتى نزيد الأمر ايضاحا يمكن أن نتخيل أن للفضاء بعض خواص الجيلاتين المرن ، وتوجد بداخله الحدود الخارجية للأجسام المختلفة · وعندما يتحور شكل الفضاء عن طريق الانضغاط ، أو المط ، أو الى فان أشكال جميع الأجسام الموجودة فيه تتغير تلقائيا بنفس الطريقة · وهذه التحورات فى الأجسام المادية التى تنشأ عن تحور الفضاء تختلف عن التحورات الفردية التى تنتج عن قوى خارجية مختلفة تحدث ضغوطا داخلية وتوترا فى الأجسام المتأثرة بها · وربما يفيد النظر الى شكل (٣٧) ـ وهو يعبر عن حالة ثنائية البعد ـ فى تفسير هذا الفارق الهام ·

ومع ذلك فان أثر انكماش الفضاء - رغم أهميته البالغة لفهم المبادىء الأولية فى الطبيعة - يتم دون أن يلحظه أحد اطلاقا فى الحياة العادية طالما أن أعلى سرعة نشـــهدها فى حياتنا اليومية تعتبر ضئيلة جدا بالنسـبة لسرعة الضوء · لذا فان سيارة تتحرك بسرعة ٥٠ ميلا (*) فى الساعة مثـــلا ينقص طولهـــا بالمعـــامل $\sqrt{١ - (١٠^{-٧})^{٢}}$ = ٠ر٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩ وهذا يساوى نقص طول الســـيارة من واقى الصدام الأمامى الى واقى الصدام الخلفى بقدر **قطر نواة الذرة !** · والطائرة ذات المحرك النفاث التى تطير بسرعة تزيد على ٦٠٠ ميل (**) فى الساعة ينقص طولها بمقدار قطر ذرة ، كما ينكمش صاروخ الفضاء الذى يصل طوله الى ١٠٠ متر وينطلق بسرعة تزيد على ٢٥٠٠٠ ميل (***) فى الساعة بمقدار ٠١ر٠ ملليمتر ·



(شكل رقم ٣٧)

ومع ذلك فاذا استطاعت أجسام أن تتحرك بسرعات تساوى ٥٠ ، ٩٠ ، ٩٩ فى المائة من سرعة الضوء فان طولها سينكمش بمقدار ١٤ ، ٤٥ ، ٨٦ فى المائة من حجمها على الأرض على الترتيب ·

وقد خلد هذا الأثر الانكماشى النسبى للأجسام السريعة شاعر غير معروف فى القصيدة الفكاهية التالية :

يحكى أن شابا اسمه « فيسك »
كان فى مبارزته أسرع من البرق
ولم تكن لسرعة سيفه حد

(★) أى حوالى ٨١ كم/ساعة (المترجم) ·
(★★) أى حوالى ٩٦٦ كم/ساعة ·
(★★★) أى حوالى ٤٠٢٣٤ كم/ساعة ·

حتى انكمش « بفيتز جيرالد »

وبعد أن كان سيفا

يا خسارة أصبح قرصا

ويبدو أن مستر « فيسك » هذا كان يبارز فعلا بسرعة الضـــوء ! ومن وجهة نظر الهندسة رباعية الأبعاد يمكن ببساطة تفسير القصر الملاحظ فى جميع الأجسام المتحركة بصفة عامة ، باعتبـــاره تغيرا فى الاسقاط الفضائى لطولها الثابت الرباعى الأبعاد ، وذلك نتيجة لدوران محورى الزمن والفضاء المتعامدين · وتذكر من الجزء السابق أننا قلنا ان المشاهدات التى تتم من جهاز متحرك لابد لوصفها من استخدام نظام المحاور الذى يدور فيه محورا الزمن والفضاء بزاوية ما تتوقف على السرعة · ولهذا اذا كان للجهاز الساكن فاصل معين رباعى الأبعاد واسقاطه على محور الفضاء ١٠٠٪ (شكل ٣٨ أ) فان اسقاطه الفضائى على المحور الزمنى الجديد يكون أقصر دائما (شكل ٣٨ ب) ومن المهم أن نتذكر أن درجة القصر (الانكماش) تعتمد تماما على حركة النظامين بالنسبة لبعضهما اذ نعتبر أحيانا أن جسما ما ساكن بالقياس الى جسم ثان ، لهذا يكون الجسم الساكن بالنسبة للآخر متمثلا فى خط طوله ثابت ويوازى محور الفضاء الجديد وطبيعى أن يكون اسقاطه أقصر طولا على المحور القديم ·

ومن الناحية الفيزيائية لا يوجد أى داع أو أهمية لتحـــديد أى النظامين هو الذى يتحرك « فعلا » · وأهم شىء هنا هو أنهما فى حالة حركة بالنسبة لبعضهما · ولذا اذا قدر لراكبين من ركاب سفينتى فضاء تابعة ل « شركة المواصلات الفضائية المحدودة » فى المستقبل أن يتقابلا فى السماء بين الأرض وزحل ، فسيرى كل منهما مع السرعة الهائلة من نوافذ سفينته الجانبية أن السفينة الأخرى تنكمش بدرجة كبيرة ، وهذا دون أن يلحظ أن سفينته أيضا يحدث لها نفس الشىء · ولا داعى لاضاعة الوقت فى جدل عقيم لمعرفة أى السفينتين ينكمش « فعلا » ، لأن الرأى فى كل سفينة يصدر من وجهة نظر ركاب الأخرى ولن تجد رأيا صـــادرا فى السفينة من ركابها (٤) ·

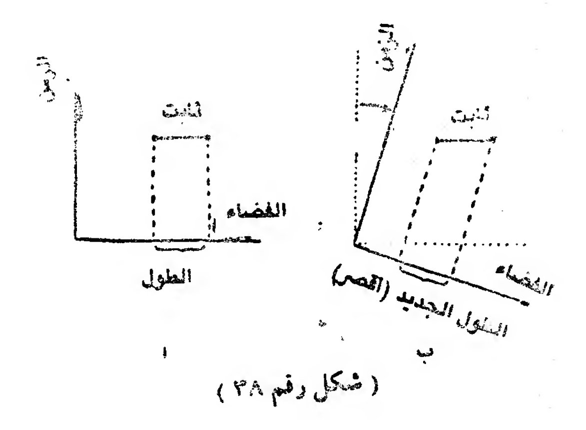
كما أن المنطق الرباعى الأبعـــاد يسمح لنـــا بأن نفهم لماذا يكون الإنكماش النسبى للأجسام المتحركة غير ملحوظ الا عند الاقتراب من سرعة الضوء · والواقع أن زاوية الدوران لمحورى الفضاء والزمن المتعامدين

---

(٤) هذه صورة نظرية تماما بالطبع ، فالحقيقة أنه اذا مرت سفينتا فضاء بجانب بعضهما كما شرحنا هنا فلن يتمكن ركاب أى منهما من رؤية الأخرى أكثر من رؤيتك لرصاصة تنطلق من مسدس فى جزء من الثانية ·

تتحدد بالمسافة التى يقطعها الجسم (النظام) المتحرك ، والزمن المستغرق فى ذلك ٠

فاذا قسـنا المسافات بالقدم والزمن بالثوانى فلن تكون هـذه النسبة الا سرعة عادية معبرا عنها بالقدم لكل ثانية ٠ ومع ذلك فطالما أن الفترات الزمنية فى العالم رباعى الأبعاد هى فترات زمنيـة عادية مضروبة فى سرعة الضوء فان السرعة المحددة لزاوية الدوران هى عمليا سرعة الحركة بالقدم/ثانية مقسومة على سرعة الضوء بنفس الوحدات ٠ ولذا فان زاوية الدوران ، وتأثيرها على قياس المسافات لا يمكن تقديرها الا عند اقتراب السرعة النسبة للنظامين المتحركين من سرعة الضوء ٠



(شكل رقم ٣٨)

وبنفس الشكل الذى تتأثر به قياسات المسافات يؤثر محورا الفضاء والزمن على قياسات الفترات الزمنية ٠ ويسـهل ايضاح أن الطبيعـة التخيلية للمحور الرابع (٥) تجعل الفترات الزمنية تطول عندما تنكمش المسافات الفضائية ٠ فاذا كان لديك ساعة مركبة على سـيارة تتحرك بسرعة ، فسوف تسير الساعة أبطأ الى حد ما من ساعة أخرى موضوعة على الأرض ، أى أن الفاصل الزمنى بين كل دقتين فيها يطول ٠ ان ابطاء الساعة المتحركة يعتبر من التأثيرات الكونية التى لا تعتمد الا على سرعة الحركة تماما فى حالة انكماش الطول ، كما أن ساعة اليد الحديثة ، وساعة جدى ذات البندول والساعة الرملية الزجاجيـة ، كل هذه الأنواع من الساعات سوف تبطىء فى سيرها بنفس الشكل شريطة أن تتحرك بنفس السرعة ٠ وهذا التأثير ليس مقصورا بالطبع على أداة ميكانيكية خاصة

(٥) أو ، اذا شئت ، فقل ان نظرية فيثاغورث فى الفضاء الرباعى تاخذ شكلا آخر فيما يتعلق بالزمن ٠

يطلق عليها « ساعة الحائط » أو « ساعة اليد » فالواقع أن كافة العمليات الفيزيقية ، والكيميائية ، والبيولوجية تبطئ فى سيرها بنفس الدرجة وقد تخشى أن يحترق البيض بعد طهيه فى سفينة فضاء سريعة لأن ساعتك سوف تكون بطيئة أكثر من للازم ، غير أن العملية التى تجرى داخل البيضة سوف تتأخر بمعدل مماثل ، ولذا اذا مرت على البيض فى ماء مغلى مدة خمس دقائق وفقا لساعتك فسوف تحصل فى جميع الأحوال على ما يسمى « بيض الخمس دقائق » (*) . وما سفينة الفضاء هنا الا مثال أنسب من عربة العشاء فى القطار ، لأنه عند انكماش الطول لا يمكن ملاحظة ابطاء الزمن الا عند السرعات القريبة من سرعة الضوء . ويمكن معرفة الابطاء باستخدام نفس العامل $\sqrt{1 - \frac{\text{مربع السرعة}}{\text{مربع سرعة الضوء}}}$

باعتباره معامل تقلص الفضاء مع فارق أنك هنا تستخدمه لا كعامل ضرب ، ولكن قسمه ، فاذا ما تحرك الشخص (مثلا) بسرعة تنقص طوله بمقدار النصف فان الزمن يزيد ضعفا .

وينطوى الانخفاض فى سرعة الزمن فى النظم المتحركة على معنى مثير بالنسبة للنظم النجمية ، فافرض أنك قد قررت زيارة أحد أقمار كوكب الشعرى اليمانية الذى يبعد تسع سنين ضوئية عن المجموعة الشمسية ، واستعملت فى رحلتك سفينة فضاء تنطلق فعلا بسرعة الضوء ، فمن الطبيعى لك أن تعتقد أن رحلة الذهاب والاياب من الأرض الى الكوكب سوف تستغرق ثمانية عشر عاما على الأقل ، مما يجعلك تتزود بمؤونة كبيرة تكفيك لهذه المدة . على أن هذا الاحتياط لن يكون ضروريا على الاطلاق لو كانت السفينة التى تركبها يمكن أن تطير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء . فالواقع أنك اذا سافرت مثلا بسرعة تساوى ٩٩ر٩٩٩٩٩٩٩٩٩٪ من سرعة الضوء فان ساعتك ، وقلبك ، ورئتيك ، وهضمك ، والعمليات الذهنية سوف تبطئ بمعامل قدره ٧٠ر٠٠٠ مرة وستبدو لك الثمانية عشر عاما (من وجهة نظر أهل الأرض التى غادرتها) وهى زمن الرحلة مجرد ساعات قليلة . والحق انك ما أن تبدأ رحلتك من الأرض بعد تناول طعام الافطار مباشرة حتى تشعر بالرغبة فى تناول الغداء عند هبوط سفينتك على كوكب الشعرى . فاذا كنت فى عجلة من أمرك وبدأت رحلة العودة بعد الغداء مباشرة فسوف تكون ــ فى كل الاحتمالات ــ على الأرض وقت العشاء . ولكنك ستجد مفاجأة كبيرة فى انتظارك هنا اذا كنت قد

(*) تختلف البيضة المسلوقة من حيث الخواص والطعم وفقا لفترة غليان الماء الموضوعة فيه ، ومن الشائع فى المطاعم الراقية أن يسمى البيض المسلوق بهذه الأسماء (المترجم) .

نسيت قوانين النسبية ، اذ أنك ستجد أصدقاءك وأقاربك قد فقدوا الأمل في عودتك باعتبارك مفقودا فى الفضاء بين النجوم ، وسيحزنك أيضـــا أنهم قد تناولوا العشاء ٦٥٧٠ مرة بدونك ! وذلك لأنك سافرت بسرعة قريبة من الضوء فبدت لك ١٨ سنة ضوئية وكأنها يوم واحد ٠

ولكن ماذا عن محاولة السفر بسرعة تفوق سرعة الضوء ؟ تستطيع أن تجد جزءا من الاجابة على هذا السؤال فى قصيدة فكاهية (نسبية) أخرى تقول :

يحكى أن فتاة اسمها « ضياء »

كانت تعدو أسرع من الضوء

وقد سافرت أمس

وعلى طريقة أينشتين

عادت أول أمس

ومن المؤكد أنه اذا كانت السرعات القريبة من سرعة الضوء تؤخر الوقت فى نظام متحرك ، فان السرعة التى تزيد عليه سوف تعود بالزمن الى الوراء ! بالاضافة الى أن التغير فى العـــلامات الجبرية تحت جذر فيثاغورث ، سوف يجعل من احداثى الزمن احداثيا حقيقيا ، وبذلك يدل على مسافة فضائية تماما كما يحدث للأطوال فى النظام الأسرع من الضوء حين تقل عن الصفر فتصبح تخيلية ومن ثم تتحول الى فترات زمنية ٠

ولو كان ذلك ممكنا لكان (شكل ٣٣) الذى يصور « أينشتين » وهو يحول العصا المترية الى منبه ممكنا أيضا ، شريطة أن يؤدى هـــذا العرض السحرى بسرعة أعلى من سرعة الضوء ! ٠

ولكن الطبيعة مهما بلغ جنونها لا **تصل الى هذه الدرجة** ، وهنـاك استحالة واضحة لوقوع هذا النوع من السحر الأسود وتتلخص فى عبارة واحدة « **لا يمكن لأى جسم مادى أن يتحرك بسرعة تساوى سرعة الضوء أو تزيد عنها** » ٠

ان الأساس الفيزيقى لهذا القانون الطبيعى الأولى ، يكمن فى حقيقة أثبتتها التجارب المباشرة أكثر من مرة ٠ وهى أن **ما يعرف بكتلة القصور الذاتى للأجسام المتحركة التى تقيس مقاومتهـــا الميكانيكية للزيادة فى سرعتها ، تتخطى أى حد عندما تصل سرعة الحركة الى سرعة الضوء** ٠ وبناء عليه اذا انطلقت رصاصة مسدس بسرعة ٩٩٫٩٩٩٩٩٩٩ فى المائة من سرعة الضوء فان مقاومتها لازدياد سرعتها تعادل مقاومة قذيفة مدفع عيار ١٢ بوصة ٠ وعند سرعة ٩٩٫٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩ فى المائة من سرعة

الضوءتتساوى مقاومة الرصاصة (قصورها الذاتى) تماما مع وزن سيارة نقل محملة ثقيلة · ومهما كانت قوة اطلاق هذه الرصاصة فلا يمكن أن تقهر الرقم العشرى الأخير بحيث تكون سرعتها مساوية للحد الأقصى لسرعة الحركة فى الكون ! ·

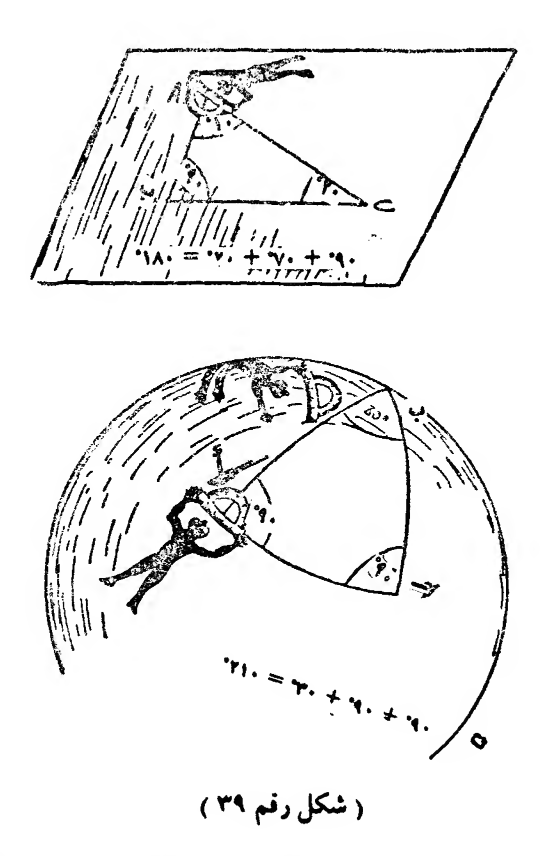
٣ ـ الفضاء المنحنى ولغز الجاذبية :

مع الاعتذار الواجب والأسف الشديد للقارىء الذى أثقلنا عليه خلال قراءته للصفحات السابقة عند الحديث عن الاحداثيات الأربعة ندعوه الآن لأن يصحبنا فى جولة فى فضاء منحنى · وكلنا يعلم ماهية الخط المنحنى والسطح المنحنى ولكن ماذا يعنى مصطلح « الفضاء المنحنى » · ان المشكلة التى تواجهنا فى محاولة تخيل مثل هذه الظاهرة لا تكمن فى غرابة المفهوم بقر ما تكمن فى الحقيقة التى مفادها أننا بينمـــا نستطيع أن ننظر الى الخطوط المنحنية والسطوح المنحنية من الخارج ، فان انحناء الفضاء الثلاثى الأبعاد لابد من مراقبته **من الداخل** ، حيث أننا نعيش فيه بأنفسنا ·

وفى محاولة لفهم كيفية تقبل الانسان ثلاثى الأبعاد لفكرة انحناء فضاء يعيش فيه دعنا أولا نمعن النظر فى الحالة الفرضية لظل ثنائى البعد يسكن سطحا ما · فى الشكلين (٣٩ أ ، ٣٩ ب) نرى اثنين من العلماء (فى هيئة طيفين) على مستوى منبسط منحنى (كروى) من « العــوالم المسطحة » يدرسان هندسة فضائهما ذى البعدين · ولا شك أن أبسط الأشكال الهندسية الممكن دراستها هو المثلث ، هذا الشكل المكون من ثلاثة خطوط مستقيمة تصل بين ثلاث نقاط هندسية · وكما نذكر جميعا من هندسة المرحلة الاعدادية ، أن اجمالى زوايا أى مثلث تساوى دائما ١٨٠° · ومن الواضح ، مع ذلك ، أن هذه النظرية لا تنطبق على المثلثات المرسومة على أسطح كروية · والواقع أن المثلث الكروى المــكون من خطى طول جغرافيين خارجين من القطب ، وخط العرض الذى يقطعهما (جغرافيــا أيضا) يحتوى على زاويتين قائمتين فى القاعدة كما أن زاوية الرأس تتراوح قيمتها بين صفر ، ٣٦٠° باختلاف الضلعين · وفى هذا المثــال المرسوم فى شكل ٣٩ ب نجد أن مجموع الزوايا يساوى ٢١٠° ، وهكذا يمكننا أن نرى أن قياس الأشكال الهندسية فى عالمها الثنائى البعد ، جعــل العالمين يكتشفان انحناء السطح دون النظر اليه فعلا من الخارج ·

وبتطبيق الملاحظة السابقة على عالم له أكثر من بعد واحد يكون من الطبيعى لنا أن نتوصل الى ما يلى :

ان علماء البشر الساكنين فى فضاء ثلاثى الأبعاد يستطيعون تأكيد انحناء الفضاء دون القفز خارجه الى البعد الرابع بمجرد قياس الزوايا بين الخطوط المستقيمة التى تربط بين ثلاث نقاط فى فضـــائهم • فاذا كان مجموع الزوايا الثلاث يساوى ١٨٠° كان الفضاء منبســطا ، والا كان فيما عدا ذلك منحنيا لا محالة •



(شكل رقم ٣٩)

عالمان ثنائيا البعد من « العوالم المسطحة » المنبسطة والمنحنية يختبران الهندسة الاقليدية فيما يتعلق بمجموع زوايا المثلث •

ولكن قبل المضى فى هذه المناقشة علينا أن نناقش بشىء من التفصيل المعنى الدقيق لمصطلح **الخطوط المستقيمة** • بالنظر الى المثلثين الموضحين فى شكل (٣٩) ، قد يقول القارىء طالما أن أضلاع المثلث المرسوم على سطح منبسط (شكل ٣٩ أ) مستقيمة فعلا فلابد أن أضلاع المثلث المرسوم

على الكرة (شكل ٣٩ ب) منحنية فعلا لكونها أقواسا من دائرة كبيرة (٦) متكيفة مع السطح الكروى ·

وهذه العبارة التى تعتمد على البديهة فى الفكر الهندسى سوف تحرم العالمين الظليين من أى امكانية لوضع هندسة للفضاء الثنائى البعد ويحتاج مفهوم الخط المستقيم الى تعريف هندسى عام لا يحفظ للهندسة الاقليدية مكانتها فحسب ، ولكنه أيضا يشمل الخطوط المرسومة على أسطح وفضاءات أكثر تعقيدا فى طبيعتها · ويتوفر هذا التعميم فى **تعريف « الخط المستقيم » بأنه الخط الذى يمثل أقصر مسافة بين نقطتين وينطبق على السطح أو الفضاء الذى يرسم فيه** · وفى الهندسة الثنائية البعد لا شك أن التعريف السابق يتفق مع المفهوم العام للخط المستقيم فقط ، بينما ينسحب باحكام على عائلة من الخطوط فى حالات أخرى للسطوح الأكثر تعقيدا ، وهذه العائلة من الخطوط تؤدى عندئذ نفس دور « الخطوط المستقيمة » فى الهندسة الاقليدية ·

وحتى نتجنب اللبس يستطيع المرء أن يطلق على الخطوط التى تمثل أقصر مسافة بين نقطتين على سطح منحنى « الخط السمتى » Geodesic · والاسم الانجليزى مشتق من علم الجيوديسيا Geodesy الذى يبحث فى دراسة المساحة التطبيقية لسطح الأرض ، والواقع أننا عندما نتكلم عن مسافة الخط المستقيم بين نيويورك وسان فرانسيسكو فاننا نعنى « المسافة على خط مستقيم » مع انحناء سطح الأرض ، وليس كما يفترض فى حفار المناجم العملاق الذى يشق طريقه مباشرة مخترقا جسد الأرض ·

ان التعريف السابق « للخط المستقيم بصفة عامة » أو « السمتى » بصفته أقصر مسافة بين نقطتين يوحى بالطريقة الطبيعية البسيطة لرسم هذا الخط ، **عن طريق شد حبل بين النقطتين المراد قياس المسافة بينهما** ، فاذا كان ذلك على سطح منبسط فانك ترسم خطا مستقيما عاديا ، وان كان ذلك على كرة ستجد أن الحبل ينثنى بامتداد قوس لدائرة كبرى هى مقابل الخط الجيوديسى أو السمتى للسطح الكروى ·

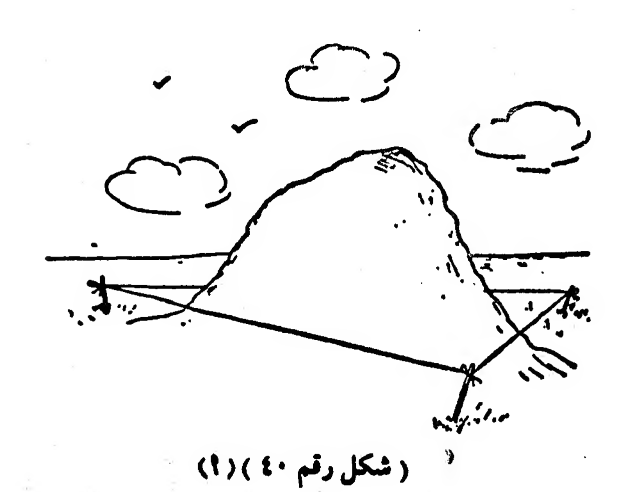
يمكن بطريقة مماثلة أن نحدد ما اذا كان الفضاء الثلاثى الأبعاد الذى نعيش فيه منحنيا أم منبسطا ، وكل ما يلزمنا أن نشد (الحبال) بين ثلاث نقاط فى الفضاء ، ثم نرى ما اذا كان مجموع زوايا المثلث يساوى

---

(٦) الدوائر الكبرى هى تلك التى يقطعها على السطح خط مستوى يمر بمركز الكرة وخط الاستواء ودائرة خط الطول من هذه الدوائر الكبرى ·

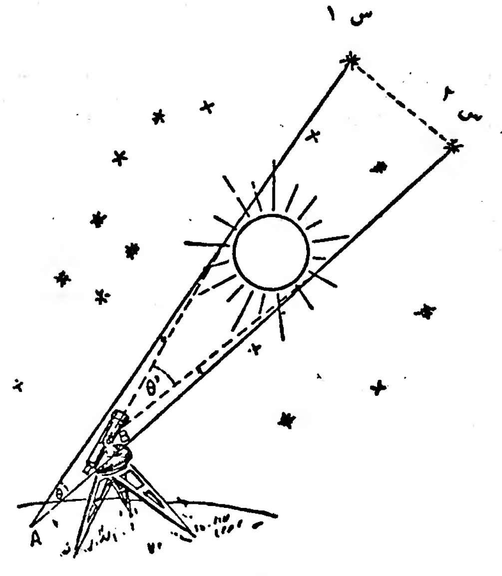
١٨٠° أم لا ٠ وللقيام بهذه التجربة ينبغى على أية حال أن نذكر شيئين هامين ٠ فمن الضرورى أن تجرى التجربة على مساحة واسعة نوعا ما حيث ان المساحة الصغيرة جدا من السطح المنحنى قد تظهر لنا مستوية تماما ، وغنى عن الذكر أنه لا يمكن التأكد من انحناء سطح الأرض بأخذ المقاسات فى حديقة المنزل مثلا ، ثم ان سطح الفضاء قد يكون منبسطا فى بعض الأماكن ومنحنيا فى أماكن أخرى ، لذا لابد من اجراء مسح كامل ٠

وتكمن عظمة الفكرة ، التى طرحها « أينشتين » عندما وضع نظريته العامة فى الفضاء المنحنى فى فرضية مؤداها **أن الفضاء الطبيعى ينحنى كلما اقترب من الكتل الكبيرة** ، وكلما كبر حجم الكتلة كلما زاد الانحناء ٠ واذا أردنا التحقق من صحة هذا الفرض عمليا نستطيع شد حبل بين ثلاثة أوتاد مثبتة فى الأرض حول أى تل كبير الحجم (شكل ٤٠ أ) ثم نقيس الزوايا الناشئة عن تلاقى هذه الأحبال ٠ فاختر أكبر مرتفع تجده ـ حتى لو كان من جبال الهيملايا ـ وسوف تجد مع التغاضى عن بعض أخطاء القياس (وهذا شىء وارد) أن مجموع زوايا المثلث لن يزيد على ١٨٠° اطلاقا !! ٠ ورغم ذلك فان هـذه النتيجـة لا تعـنى بالضرورة أن « أينشتين » كان مخطئا وأن وجود الكتل الضخمة لا يؤدى الى انحناء السطح من حولها ٠ وربما كان جبل الهيملايا نفسه لا يؤدى الى انحناء الفضاء المحيط به بما يكفى لتسجيل الانحراف حتى باستخدام أدق آلات القياس ٠ ونذكر الاخفاق الذى لقيه « جاليليو » فى محاولته لقياس سرعة الضوء باستخدام فانوسه الآلى الاغلاق (شـكل ٣١) ٠ لذا دعك من الشعور بالاحباط ، وتعال نجرب ثانية مع كتلة أكبر حجما كالشـمس مثلا ٠



(شكل رقم ٤٠) (أ)

ومما يقضى بالعجب أن التجربة تنجح هذه المرة ! فسوف تجد اذا مددت حبلا من نقطة ما على الأرض الى نجم معين ثم الى نجم آخر بحيث تكون الشمس داخلة فى المثلث المغلق المكون من الحبال الثـلاثة ـ أن مجموع الزوايا الثلاثة سوف يختلف بدرجة ملحوظة عن ١٨٠° • واذا لم يكن لديك حبل طويل بما يكفى لاجراء هـذه التجربة فيمكنك استبداله بشعاع ضوئى وهو أفضل من الحبل من جميع الوجوه ، اذ ان علم البصريات يعلمنا أن الضوء **يسلك دائما أقصر الطرق الممكنة** •



(شكل رقم ٤٠ ب)

ويصور (شكل ٤٠ ب) رسما تخطيطيا لاحدى تجارب قيـاس الزوايا المحصورة بين أشعة الضوء ، حيث يلتقى الشـعاعان الضوئيان الآتيان من النجمين س١ ، س٢ الواقعان على جانبى قرص الشمس (وقت التجربة) ـ عند جهاز التيودوليت (المزواة) مما يمكننا من قياس الزاوية المحصورة بين الشعاعين • ثم تعاد التجربة بعد ابتعاد الشمس عن طريق النجمين ونقارن بين الزاوية فى الحالة الأولى والزاوية فى الحالة الثانية ، فان اختلفنا كان ذلك دليلا على أن الشمس تؤثر على انحناء الفضـاء من حولها ، بحيث ينحرف شعاعا الضوء عن مسارهما الأصلى •

وقد كان « أينشتين » هو الذى اقترح هذه التجربة لاختبار صحة نظريته • وقد يستطيع القارىء أن يفهم الحالة بصورة أفضل نوعا بالنظر الى ما يماثلها على سطح ثنائى البعد (شكل ٤١) •

ومن الواضح أن هناك عقبة عملية قد اعترضت سبيل تجربة أينشتين

فى الظروف العادية : فأنت لا تستطيع رؤية النجوم حول الشمس بسبب شدة لمعانها ، ولكن فى فترة الكسـوف الكلى للشمش تصبح واضحة للعيان وقت النهار · وبالاستعانة بهذه الحقيقة تم اجراء التجربة عمليا عام ١٩١٩ على يد بعثة فلكية بريطانية فى جزر « برينسيب » (غرب افريقيا) ، حيث أمكن ملاحظة كسوف الشمس منها فى ذلك العـام · وكان فرق البعد الزاوى بين النجمين والشمس بينهما ، والنجمين والشمس خارجهم ٦١ر١ً ± ٣٠ر١ً بالمقارنة مع ما قدره « أينشتين » وهو ٧٥ر١ً · وكانت النتائج التى توصلت اليها البعثات الاستكشافية فى تواريخ لاحقة مماثلة للتجربة ·

ولا تعتبر قيمة ثانية ونصف من القيم الكبيرة فى الزوايا الزمنية ، ولكنها كافية لاثبات أن كتلة الشمس تجبر الفضاء فعلا على الانحناء من حولها ·

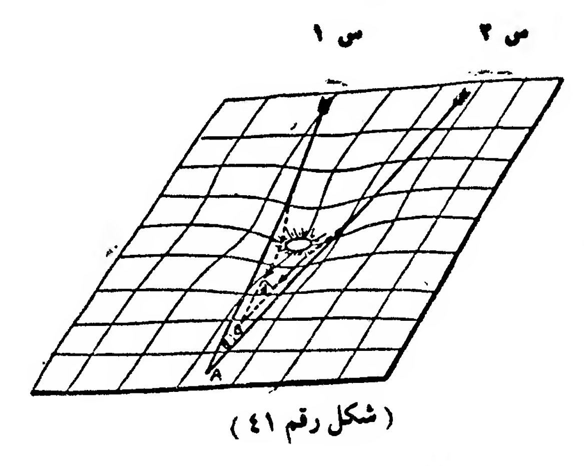
ولو أمكن الاستعانة بنجم آخر أكبر من الشمس لوجدنا أن هذه النظرية الاقليدية لمجموع زوايا المثلث لا تتحقق ، فيختلف مجموع الزوايا عدة دقائق ، بل ودرجات عنها ·

ويحتاج التآلف مع مفهوم الفضاء الثلاثى المنحنى الى بعض الوقت مع قدر كبير من التخيل عند دراسة هذا الفضاء من داخله · ولكن ما أن تضع يدك على حقيقته حتى يصبح واضحا لك ومحددا ، شأنه فى ذلك شـأن المفاهيم المألوفة فى الهندسـة الكلاسـيكية من حيث وضـوحها وتحديدها ·

والآن تبقى خطـوة واحـدة هامة حتى يكتمـل لك فهم نظرية « أينشتين » فى الفضاء المنحنى وعلاقته بالنقاط الأساسية فى الجاذبية الكونية ومرة أخرى يجب أن نتذكر أن الفضاء الثلاثى الذى تحدثنا عنه ليس الا جزءا من عالم الفضاء والزمن الرباعى الذى يعمل كخلفية لكافة الظواهر الطبيعية · ويترتب على هذا أن يكون انحناء جزء الفضاء لا يزيد على انعكاس للانحناء الفضائى الزمنى الرباعى الأعم وأن **«خطـوط العالم» لهذا الكل انما تعبر عن حركة أشعة الضوء ، والأجسام المادية فيـه ، ولابد من اعتبارها خطوطا منحنية فى فضاء أعظم ·**

وانطلاقا من هذه النظرية وصل أينشتين الى نتيجة هامة وهى : أن ظاهرة الجاذبية مجرد أثر من آثار انحناء العالم الفضائى الزمنى ذى الأربعة أبعاد · وهكذا نستطيع أن نستبعد عبارة قديمة غير وافية كانت تقول أن الشمس تؤثر ، بقوة معينة على الكواكب مباشرة فتجعلها ترسم مدارات دائرية حولها ، والأدق الآن أن نقـول ان كتلة الشـمس **تحدث انحناء فى عالم الفضاء والزمن الرباعى ـ من حولها وان خطوط العـالم**

للكواكب تبدو على الصورة التى تراها فى شكل (٣٠) لا لشىء الا لأنها خطوط « سمتية » تمر فى الفضاء المنحنى ٠



(شكل رقم ٤١)

وبذا يختفى تماما مفهوم الجاذبية كقوة مستقلة من منطقتنا ، وتحل محله مفاهيم هندسة الفضاء البحتة التى تقضى بأن حركة الأجسام المادية تتبع « أشد المسارات استقامة » ، أو « الخطوط السمتية » التى تنطبق على الانحناءات الناتجة عن وجود الكتل الضخمة ٠

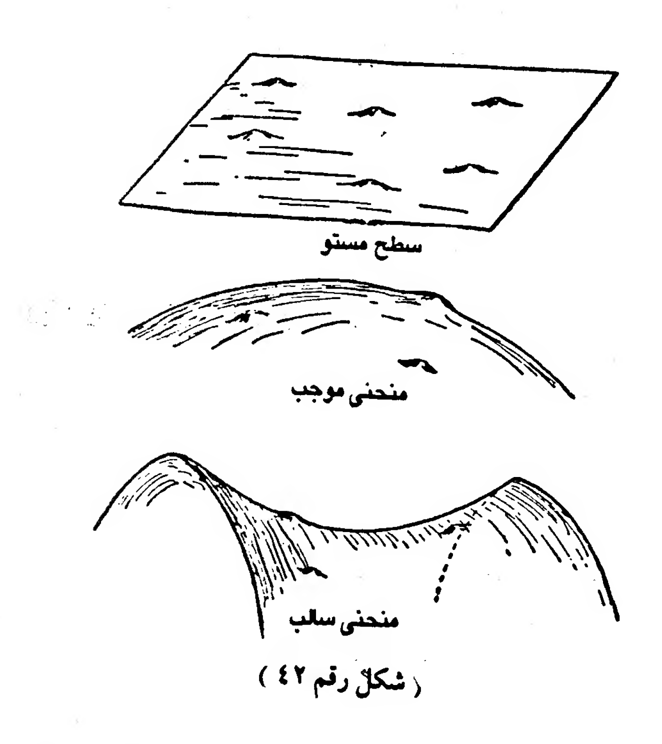
٤ ـ الفضاء المغلق والفضاء المفتوح :

لا يجوز أن ننتهى من هذا الفصل قبل أن نعرض بايجاز قضية أخرى من القضايا الهامة فى هندسة الفضاء والزمن عند « أينشتين » ، وهى الكون ٠ هل هو نهائى أم لا نهائى ؟ ٠

وقد ناقشنا حتى الآن الانحناء الموضعى للفضاء بجوار الكتل الكبيرة ، هذه المجموعة المتنوعة من « البثرات الفضائية » المنتشرة على وجه الكون العملاق ٠ ولكن بغض النظر عن هذه البروزات الموضعية هل الكون منبسط أم منحن ، واذا كان منحنيا فما نوع هذا الانحناء ؟ ٠

ونرى فى شكل (٤٢) رسما توضيحيا ثنائى البعد لفضاء منبسط وبه « بثرات » ، كما نرى أيضا نوعين من الانحناءات الممكنة ٠٠ وأول هذين النوعين هو « الانحناء الموجب » وهو يقابل سطح الكرة ، أو سطح أى شكل هندسى مغلق ويكون « موحدا » فى جميع الاتجاهات ٠ أما « الانحناء السالب » ، وهو عكس النوع السابق ، فيتخذ اتجاهين اتجاها لأعلى وآخر لأسفل ويشبه الى حد كبير سرج الحصان فى الغرب الأمريكى ٠ والفارق بين هذين النوعين يظهر بوضوح عندما تقص قطعتين

من الجلد احداهما من كرة قدم والاخرى من سرج حصان ، ثم تحاول فردهما على مائدة وستلاحظ استحالة ذلك دون مط أو انكماش فبينما يحتاج جلد الكرة الى المط يحتاج السرج الى الانكماش حيث تكون المساحة المحيطة بالمركز فى جلد الكرة غير كافية لفرده ، بينما تزيد مساحة الجلد حول مركز السرج أكثر مما يلزم لفرده ولهذا نراه يتجعد مهما حاولت تسويته .



(شكل رقم ٤٢)

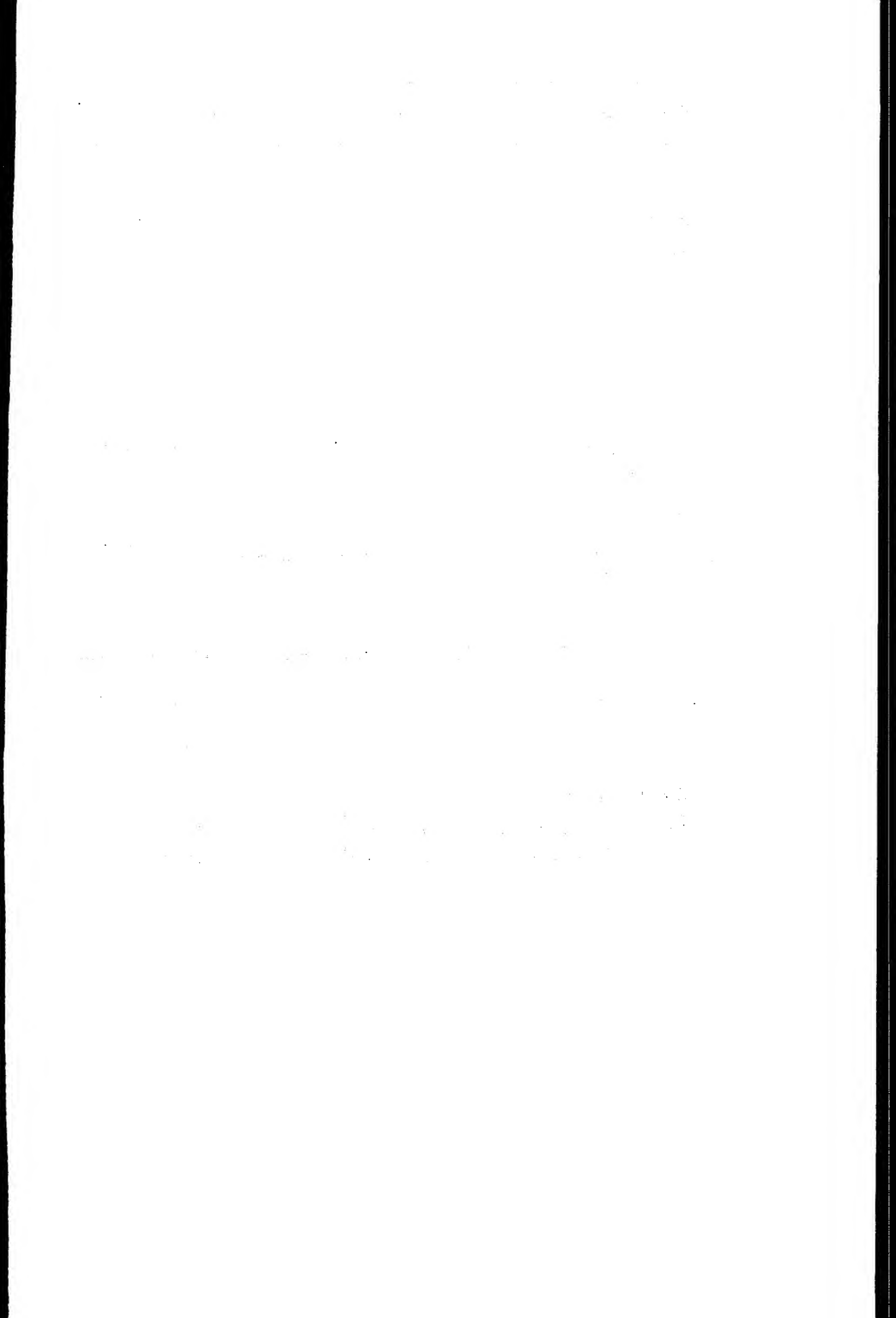
ويمكن ايضاح هذا الأمر بطريقة أخرى ، فافرض أنك ستقوم بعد البثرات الموجودة فى بوصة ، اثنتين ، ثلاث بوصات ٠٠ الخ (معدودة على امتداد السطح) من نقطة معينة ٠ وعلى السطح المستوى تجد أن عدد البثرات يزداد بمعدل مربع المسـافات أى ١ ، ٤ ، ٩ ٠٠ الخ ، أما على السـطح الكروى فسـيزداد عدد البثرات بمعـدل أقل من ذلك ، فى حين يزداد على سـطح السرج بمعدل أكبر ٠ وهكذا فان العـالمين الظليين ثنائيى الأبعـاد واللذين يسـكنان على هذا السطح ، وبالتالى يكونان غير قادرين على النظر اليه من الخارج لملاحظة شكله ، سوف يصبح بمقدورهما رغم ذلك أن يكتشفا الانحناء بواسطة عد البثرات الموجودة فى الدوائر المختلفة فى نصف قطرها وربما لاحظنا هنا أيضـا أن الانحناء

الموجب والسالب يعرب عن نفسه فى قياسات الزوايا فى المثلثات المتكافئة ٠ وكما رأينا من قبل فى الجزء السابق فان مجمـــــوع الزوايا فى المثلثات المرسومة على سطح كرة **يزيد** دائما على ١٨٠° ٠ فاذا حاولت رسم مثلث على سطح السرج ستجد أن مجموع زواياه **يقل** دائما عن ١٨٠° ٠

ويمكن تعميم النتائج السابقة ـ والتى حصلنا عليها بالنسبة للأسطح المنحنية بصفة خاصة ـ على الفضاءات ثلاثية الأبعاد المنحنية وفقا للجدول التالى :

نوع الفضاء	سلوكه على المدى البعيد	مجموع زوايا المثلث	معدل الزيادة
فضاء موجب الانحناء شبيه بالكرة	مغلق على نفسه	$>$ ١٨٠°	اقل من مكعب ضلعه مساو لنصف القطر
فضاء مستو	ممتد الى ما لا نهاية	= ١٨٠°	مساو لمكعب ضلعه مساو لنصف القطر
فضاء سالب الانحناء شبيه بالسرج	ممتد الى ما لا نهاية	$<$ ١٨٠°	أزيد من مكعب ضلعه مساو لنصف القطر

ويمكن استخدام الجدول فى البحث عن اجابة عملية عما اذا كان الفضاء الذى نعيش فيه نهائى أم لا نهائى ـ وسوف نتعرض لمناقشـــة هذه المسألة فى الفصل العاشر الذى يتناول موضوع حجم الكون ٠





الجزء الثالث

الكون الأصغر

الفصل السادس

النزول من على السلم

١ ـ الفكرة الاغريقية :

من الأفضل فى تحليل خواص الأجسام المادية أن نبدأ ذلك على بعض الأجسام المعتادة لنا « ذات الحجم العادى » ، ثم ، نتدرج خطوة خطوة الى البناء الداخلى لها حيث تكمن المصادر الأساسية لكافة الخواص المادية بعيدا عن عيون الانسان ٠

لذا هيا نبدأ المناقشة باناء من حساء المحار موضـــوع على مائدة عشائك ٠ ولقد اخترنا حساء المحار ليس لأنه مغذ وحلو الطعم ، ولكن لأنه يعتبر مثالا لطيفا على ما يسمى **بالمادة غير المتجانسة** وتستطيع حتى دون الاستعانة بميكروسكوب أن ترى أن الحساء هو عبارة عن خليط من عدد كبير من المكونات : شرائح المحار الصـــغيرة ، وقطع البصـــل ، والطماطم ، والكرفس ، وحبيبات البطاطس الدقيقة بالاضافة الى حبيبات الفلفل الأســـود ، والقليل من السمن ٠٠٠ كل هذه المكونات مختلطة مع بعضها فى محلول مائى مملح ٠

وأغلب المواد التى نتعامل معها فى حياتنا اليومية ـ وبخاصة المواد العضوية ـ تكون غير متجانسة رغم أن ادراك هذه الحقيقة يتطلب استعمال الميكروسكوب فى أغلب الحالات ٠ ولكن درجة محدودة من التكبير تكون كفيلة بأن توضح لك على سبيل المثال أن اللبن عبارة عن مستحلب رقيق القوام مكون من قطرات دقيقة من الزبد معلقة فى سائل أبيض متجانس ٠

كما أن تربة الحديقة العادية هى خليط دقيق من جزيئات ميكروسكوبية من الكالسيوم ، والكاولين ، والكوارتز ، وأكسيد الحديد وغير ذلك من الأملاح والمعادن ، بالاضافة الى العناصر العضوية المختلفة الناتجة من تحلل النباتات والحيوانات · واذا صقلت سطح صخرة جرانيت عادية يتضح لك فى الحال أن هذه الصخرة تتكون من بلورات صغيرة الحجم لثلاثة أنواع من العناصر (كوارتز ، فلسبار ، ميكا) وتلتصق هذه البلورات مع بعضها بقوة لتكون جسما صلبا واحدا ·

فى دراستنا للبنية الداخلية للمادة ، يعتبر تكوين المواد غير المتجانسة مجرد خطوة أولى ، أو بالأحرى أولى درجات السلم وفى كلتا الحالتين نستطيع بعد ذلك أن ننتقل الى دراسة العناصر المتجانسة التى يتكون منها الخليط · وفى العناصر المتجانسة فعلا ، سلك النحاس ، أو كوب الماء ، أو الهواء الذى يملأ الحجرة (بفرض خاوه من الغبار المعلق بالطبع) ـ لا يمكن للفحص الميكروسكوبى أن يظهر أى أثر لمكونات مختلفة وسوف تبدو المادة متصلة فى جميع أجزائها · صحيح أننا فى حالة سلك النحاس ، أو مع جميع الأجسام الصلبة (باستثناء المواد المكونة من عناصر زجياجية غير متبلرة) نكتشف اذا نظرنا بمجهر قوى أن التكبير القوى يكشف دائما عما يسمى بالهيكل المجهرى التبلرى (Microcrystaline Structure)

ولكن البلورات المنفصلة التى نراها فى المواد المتجانسة تعتبر جميعها ذات طبيعة واحدة ـ مثل بلورات النحاس فى سلك نحاسى وبلورات الألومنيوم فى حلل الطهى ·· الخ تماما كما نجد بلورات كلوريد الصوديوم فى حفنة من ملح الطعام · وباستخدام تكنيك خاص (التبلر البطىء) نستطيع زيادة حجم بلورات الملح ، والنحاس ، والألومنيوم ، أو أى مادة متجانسة أخرى الى أى مدى نريده ، كما أن قطعة من مثل هذه العناصر « أحادية التبلر » Monocrystaline سوف تكون شبيهة فى تجانسها تماما بالماء أو الزجاج ·

اذن هل نحن على حق استنادا الى هذه الملاحظات سواء عن طريق العين المجردة أو أقوى أنواع الميكروسكوبات فى افتراض أن العناصر التى نطلق عليها متجانسة سوف لا يحدث لها أى تغير مهما كانت درجة التكبير المستخدمة ؟ وبمعنى آخر ، هل نستطيع أن نصدق أنه مهما كانت كمية النحاس أو الملح أو الماء ضئيلة فان خواصها سوف تكون دائما هى نفس خواص العينات الأكبر وأنه يمكن دائما تقسيمها الى أجزاء أصغر ؟ ·

لقد كان أول من صاغ هذا السؤال وحاول البحث عن جواب له الفيلسوف الاغريقى « ديموقريطس » الذى عاش فى أثينا منذ ثلاثة

وعشرين قرنا وقد كانت اجابته بالنفى ، اذ كان أكثر ميلا الى الاعتقاد بأنه مهما كان تجانس أى مادة فى ظاهرها فلابد من النظر اليها باعتبـارها تتكون من عدد كبير (ما مدى كبر هـــذا العدد ؟ هـذا ما لم يستطع معرفته) من جزيئات منفصلة بالغة الدقة (ما مدى دقتها ؟ هذا مالم يعرفه أيضا) وقد سمى هذه الأجزاء « الذرات » أو « غير المرئيات » وهذه الذرات أو غير المرئيات تختلف كميتهـا · فى المواد المختلفـة ، ولكن اختلافها فى النوع هو مجرد اختـلاف ظاهرى · فالحق أن ذرات النار هى نفسها ذرات الماء ، وهى لا تختلف الا فى المظهر فحسب ، والواقع أن جميع المواد مركبة من نفس النوع من الذرات السرمدية ! ·

وقد اختلف مع « ديموقريطس » فى هذا الرأى أحد معاصريه وهو « امبيدوقليس » (Empedocles) ، حيث قال ان هناك أنواعا شتى من الذرات المختلطة بنسب متباينة مما يؤدى الى تكوين العديد من العناصر المختلفة المعروفة واستنادا الى المبادىء الأولية للكيمياء المعروفة فى ذلك الوقت تعرف « امبيدوقليس » على أربعة أنواع من الذرات وهى تقابل العناصر المزعومة الأربعة : مادة الحجر ، والماء ، والهواء ، والنار · وفقـا لهذه الآراء تكون التربة مثلا مكونة من عنصر الحجر وعنصر الماء المختلطين جيدا ذرة بذرة : وكلما ازداد العنصران اختلاطا كلما تحسنت التربة · فالنبات الذى يخرج من التربة يحتوى على ذرات الحجر والماء وذرات النار الآتية من أشعة الشمس ، فتؤدى فى النهاية الى تكوين جزىء مركب من الخشب · واحتراق الخشب الجاف الذى انتزع منه عنصر الماء كان يعتبر انحلالا أو تفسخا فى جزيئات الخشب الى مكوناته الأساسية وهى ذرات النار التى تنطلق مع اللهب ، وذرات الحجر التى تتخلف فى صورة رماد ·

والمعروف الآن أن هذا التفسير لنمو النبات واحتراق الخشب والذى كان يبدو منطقيا تماما فى هذا العهد المبكر من طفولة العلم انما هو تفسير خاطىء · فنحن نعلم أن النبات يحصل على أكبر جزء من المواد الداخلة فى نموه لا من التربة كما ظن الأقدمون ــ أو كما تظن أنت نفسك اذا لم يكن أحد قد أخبرك بالحقيقة ــ ولكن من الهواء ·

والتربة ذاتها لا تسهم الا بجزء ضئيل جدا فى بعض الأملاح اللازمة لنمو النبات ، الى جانب ما تقوم به من دور فى تدعيم النبات والعمـــل كمخزن يحتوى على الماء اللازم له ، ويستطيع المرء أن يزرع نبتة قمح كبيرة جدا من كمية التربة التى يحتوى عليها كشتبان صغير (*) والحقيقة أن الهواء الجوى ، الذى هو مزيج من النيتروجين ، والاكسجين (وليس عنصرا بسيطا كما ظن القدماء) يحتوى أيضا على كمية معينة من ثانى أكسيد

(*) انبوب معدنى قصير (المترجم) ·

الكربون الذى تتكون جزيئاته من ذرات الأكســجين والكربون وتمتص الأوراق الخضراء للنبات ثانى أكســيد الكربون ، تحت تأثير أشــعة الشمس ، فيتفاعل مع الماء الذى يصل اليها عبر جذور النبات مكونا المواد العضوية ، التى يتكون منها جسم النبات • ثم يعود الأكسجين جزئيا الى الغلاف الجوى ومن نتائج هذه العملية أن « النباتات الموضوعة فى حجرة تجدد الهواء » •

وعندما يحترق الخشب ، تتحد جزيئاته مرة أخرى مع أكسجين الهواء الآتى من الجو ليتحول مرة أخرى الى ثانى أكسيد كربون وبخار الماء الذى ينطلق مع اللهب الساخن •

أما « ذرات النار » التى اعتقد القدماء بوجودها فى البنية المادية للمواد فهى غير موجودة ، ولا توفر أشعة الشمس الا الطاقة اللازمة لتحلل جزيئات ثانى أكسيد الكربون وبذا تجعل من هذا الغذاء الجوى مادة قابلة للهضم بواسطة النبات النامى ، ولما كانت ذرات النار لا وجود لها فمن الواضح أن « تحرر » هذه الذرات غير الموجودة أصلا ليس هو السبب فى اشتعال النار ، فاللهب هو ببساطة كتلة من تيار الغازات المسخنة التى تؤدى الطاقة المتحررة أثناء هذه العملية الى اظهارها للعيان •

والآن لنأخذ مثالا آخر لنوضح الفارق بين آراء القدماء والمعــاصرين فى التحولات الكيميائية ، أنت تعلم بالطبع أن المعادن المختلفــة يمكن الحصول عليها من الخام المقابل باخضاعه الى درجات حرارة عالية جدا فى الأفران العالية • ولا يختلف المعدن الخام لأول وهلة عن الصخور العادية لذا فلا يجب أن نندهش من اعتقاد العلماء القدامى بأن خام المعادن مكون من نفس عنصر الحجر مثله مثل أى صخر • ومع ذلك فعند وضع قطعة من خام الحديد فى نار حامية ، وجد أن الناتج يختلف تماما عن أى صخرة عادية ــ وهو ذلك العنصر اللامع الذى نصنع منه السكاكين الحامية ورءوس الرماح ، وكان أسهل الطرق لتفسير هذه الظاهرة هو القول بأن المعدن متكون من اتحاد مادة الحجر مع النار ــ أو بعبارة أخرى ان ذرات المعدن هى خليط من ذرات الحجر وذرات النار •

وبعد أن قاموا بتفسير مكونات المعادن بصفة عامة ، قاموا بتأويل وجود نوعيات المعادن المختلفة مثل الحديد ، والنحاس عن طريق القــول بوجود نسب مختلفة من الحجر والنار فى تركيبها • ألم يكن من الواضح أن لمعان الذهب يرجع الى احتوائه على قدر من النار أكثر من الحديد المائل للسواد ؟

ولكن اذا كان الأمر كذلك فلم لا نضيف قدرا أكبر من النار الى الحديد أو الى النحاس ، وبالتالى يتحولان الى الذهب النفيس ؟ ومن هذا

المنطلق أمضى علماء الكيمياء فى القرون الوسطى فترات كبيرة من عمرهم بجانب المواقد محاولين الحصول على الذهب الثمين من معادن أرخص ٠

وقد كانت هذه المحاولات من وجهة نظرهم لا تقل فى معقوليتها عن محاولات الكيميائيين المعاصرين لاستحداث طريقة لانتاج المطاط الصناعى ٠ وكان خطأ هذه النظرية والتطبيق العملى لها كامنا فى اعتقادهم أن الذهب وغيره من المعادن هى مركبات وليست عناصر بسيطة ٠ ولكن كيف يستطيع المرء أن يعرف ما اذا كان العنصر أوليا أم مركبا دون التجريب ؟ ولولا المحاولات الفاشلة لهؤلاء الكيميائيين الأوائل لتحويل الحديد أو النحاس الى ذهب أو فضة لما تسنى لنـــا اطلاقا معرفة أن المعـــادن هى عناصر كيميائية بسيطة ، وأن الخام المحتوى على معادن ما هو الا تركيبة ناتجة عن اتحاد ذرات المعدن بذرات الاكسجين (أكاسيد المعادن كما يطلق عليها الكيميائيون حاليا) وليس تحول خام الحديد الى معدن تحت تأثير الحرارة اللافحة فى الفرن العالى نتيجة لاتحاد الذرات (ذرات الحجر والنار) كما ظن الكيميائيون القدامى ، ولكنه على النقيض تماما نتيجة لفصل هذه الذرات ، أو انتزاع ذرات الاكسجين من ذرات أكسيد المعدن المركبة ٠ كما أن الصدأ الذى يظهر على سطح الأجسام المعدنية عند تعرضها للرطوبة ليس مكونا من ذرات الحجر المتخلفة عند تحرر ذرات النار أثنـــاء تحلل عنصر الحديد ولكنه نتيجة تكون جزيئات مركبة من ثانى أكسيد الحديد الناتج عن اتحاد ذرات الحديد بذرات الاكسجين الموجودة فى الهـــــواء أو الماء (١) ٠

ويتضح لنا من المناقشة السابقة أن مفاهيم العلماء القـــدامى عن التركيب الداخلى للمادة ، وطبيعة التحول الكيميائى فيهـــا كان صحيحا

---

(١) لذا فعلى حين كان الكيميائى القديم يعبر عن تصنيع الحديد من خامه كالتالى :

(ذرة حجر) + (ذرة نار) ← جزىء حديد

خـام

وظهور صدأ الحديد كما يلى :

(جزىء حديد) ← (ذرات حجر) + (ذرات نار)

الصـــدأ

أصبحنا نكتب هذه العمليات كما يلى : (جزىء أكسيد حديد) ←

خام الحديد

← (ذرات حديد) + (ذرات أكسجين)

و (ذرات حديد) + (ذرات اكسجين) ← (جزىء أكسيد حديد)

صدأ الحديد

فى أساسه ، ولكن خطـــأهم كان كامنا فى عدم فهمهم لأنواع العناصر الأولية · والحق أن أيا من العناصر الأربعة التي ذكرها « امبيدوقليس » بوصفها عناصر أولية ليس أوليا فى الواقع فالهواء هو خليط من غازات عديدة مختلفة ، وجزيئات الماء تتكون من ذرات الاكسجين والهيدروجين ، أما الصخور فهى ذات تركيب غاية فى التعقيد اذ تحتوى على عدد كبير جدا من العناصر المختلفة ، وأخيرا بالنسبة لذرات النار فهى عنصر لا وجود له اطلاقا (٢) ·

والواقع أن عدد العناصر الكيميائية المختلفة فى الطبيعة ليس أربعة بل ٩٢ نوعا مختلفا من الذرات ، وبعض هذه العناصر مثل الاكسجين والكربون ، والحديد ، والسليكون (المكونات الرئيسية لمعظم الصخور) متوفر الى حد ما على الأرض ومألوف للجميع · والبعض الآخر شـــديد الندرة · وربما كنت لم تســـمع اطـــلاقا عن بعض العناصر مثـــل : البراسوديميوم ، أو الديسبروســـيوم ، أو اللانثنيوم · وبالاضافة الى العناصر الطبيعيه التى نجح علماؤنا المعاصرون فى تخليقها هناك عدد من العناصر الجديدة تماما ، وسوف نناقشها بعد قليل في هذا الكتاب ومن بينها عنصر البلوتنيوم الذى يتوقع أن يؤدى دورا هاما فى اطلاق الطاقة الذرية لكل من الأغراض السلمية والحربية ، وباتحاد الـ٩٢ نوعا من ذرات العناصر الأولية بنسب مختلفة ينتج عدد غير محدود من المواد المركبة المختلفة مثل الماء والزبد والزيت والتربة والحجارة والعظام والشاى وال « تى.ان.تى » وغيرها كثير من المركبات مثل « التراى فينيل بريليوم كلوريد » و « الميثيل ايزو بروفيل سايكلوهكسان » التى لابد للكيميائى الماهر أن يحفظها عن ظهر قلب ، ولكن معظم الناس لا يحاول حتى أن ينطقها فى نفس واحد ، وهناك المجلدات التى يكتبها الكيميائيون لتلخيص خواص هذا العدد غير المحدود من اتحادات الذرات وطرق تحضيرها وهلم جره ···

٢ ـ ما هو حجم الذرات ؟ :

وعندما يتحدث كيميائى معاصر عن الذرات ، فهو لا يعنى شيئا أكثر فى مناقشتهما أساسا على أفكار فلسفية مبهمة ، وهى استحالة تصور عملية يمكن فيها تقسيم المادة الى أجزاء أصغر وأصغر دون الوصول الى وحدات غير قابلة للتقسيم أبدا ·

وعندما يتحدث كيميائى معاصر عن الذرات ، فهو لا يعنى شيئا أكثر تحديدا من ذلك بكثير ، فالمعرفة الدقيقة بالذرات الأوليـــة واتحادها فى الجزيئات المعقدة شيء ضرورى تماما لفهم قانون كيميائى أساسى تتحـــد

(٢) كما سنرى فيما بعد فى هذا الفصل أن فكرة ذرات النار أطلت من جديد برأسها الى حد ما فى نظرية الكم الضوئى ·

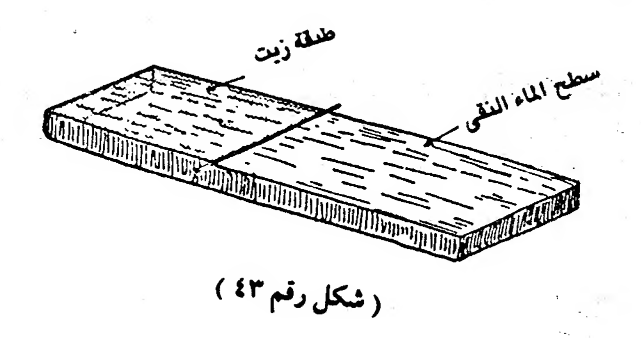
العناصر الكيميائية بموجبه بنسب ثابتة وزنيا ، وتعكس هذه النسب بوضوح الأوزان النسبية لذرات هذه العناصر ، ولذا استنتج الكيميائيون مثلا أن ذرات الأكسجين والألومنيوم والحديد لابد أن تكون أثقل بستين مرة ، وسبع وعشرين مرة ، وست وخمسين مرة على الترتيب من ذرات الهيدروجين • ولكن بينما تعتبر الأوزان الذرية النسبية للعناصر المختلفة من الأوليات الهامة فى الكيمياء ، فان الوزن الفعلى لهذه الذرات معبرا عنه بالجرام لا يمثل أهمية اطلاقا للعمل الكيميائى ، ومعرفة هذه الأوزان بدقة لن يؤثر بأى شكل على الحقائق الكيميائية الأخرى ، أو تطبيق القوانين والطرق الكيميائية •

ومع ذلك فعندما يتناول الفيزيائى الذرات بالبحث سيجد أن أول سؤال يواجهه : « ما هو الحجم الفعلى للذرات بالسنتيمتر ، وما وزنها بالجرام ، وما عدد الذرات أو الجزيئات الموجودة فى أى مادة ؟ وهل هناك وسيلة لمراقبة أو عد أو تناول الذرات والجزيئات على حدة ، واحدة بعد الأخرى ؟

وثمة طرق مختلفة متعددة لتقدير حجم الذرات والجزيئات ، وهى من البساطة حتى أن « ديموقرطيس » و « امبيدوقليس » كان فى وسعهما استخدامها لو تطرق فكرهما اليها • فاذا كانت أصغر وحدة فى تركيب أى جسم مادى ولنفترض أنها قطعة من سلك النحاس ، هى الذرة ، فمن الواضح أنه يستحيل أن نحصل على لوح أقل فى سمكه من هذه الذرة • ولذا يمكننا أن نمط هذا السلك النحاسى حتى يصل فى النهاية الى سلسلة من الذرات المفردة ، أو نستطيع أن نطرقه حتى يتحول الى ورقة رقيقة من النحاس بقطر ذرة واحدة • وبالنسبة لسلك النحاس أو أى جسم صلب آخر تعتبر هذه المسألة أصعب من المستحيل ، ذلك لأن المعادن ستنكسر قبل أن تصل الى الحد الأدنى المطلوب من السمك • ولكن المواد السائلة مثل طبقة رقيقة من الزيت تطفو على سطح الماء يمكن بسهولة فردها حتى تصبح غشاءا رقيقا منسوجا من جزيئات هذه المادة ، بحيث تتلاحم الجزيئات ببعضها البعض أفقيا ، ولكن لا تتراكم على بعضها البعض ، رأسيا • ومع العناية والصبر يستطيع القارىء أن يفعل ذلك بنفسه وبذا يقيس بأسلوب بسيط حجم جزىء الزيت •

خذ اناء مستطيلا ضحلا (شكل ٤٣) وضعه على مائدة أو أرضية بحيث يكون مستويا تماما ، واملأه بالماء حتى حافته وضع قطعة من السلك بعرضه تلامس سطح الماء ، فاذا ما استطعت بعد ذلك اسقاط قطيرات صغيرة من زيت نقى على أحد جانبى السلك فسوف ينتشر الزيت على هذا الجزء من سطح الماء الذى يقع على جانب السلك الذى أسقطت عليه

الزيت . فاذا ما حركت الآن هذا السلك بطول الوعاء بعيدا عن الزيت فستنتشر هذه الطبقة فى أثر السلك ويقل سمكها شيئا فشيئا حتى يصبح سمكها أخيرا مساويا لقطر جزىء واحد من الزيت . وسوف تؤدى أى حركة زائدة بعد ذلك للسلك الى انقطاع فى اتصال هذا السطح الزيتى وظهور فتحات فيه . وبمعرفة كمية الزيت الذى تضعه على الماء ، والحد الأقصى للمساحة التى يمكن انتشار الزيت عليها دون انقطاع تستطيع ببساطة أن تحسب قطر الجزىء المفرد للذرة .



(شكل رقم ٤٣)

طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء تنفصل عند شدها اكثر من اللازم .

وأثناء قيامك بهذه التجربة يمكنك أن تلاحظ ظاهرة أخرى مشوقة . فبعد القاء بعض الزيت على سطح الماء الخالى سوف تلاحظ أولا ظهور قوس قزح المألوف فيه وربما كنت قد شاهدته عدة مرات من قبل فى الموانىء على سطح الماء الذى ترسو عليه كثير من السفن . ويرجع ظهور هذه الألوان الى ظاهرة معروفة وهى ظاهرة تداخل الأشعة الضوئية المنعكسة عن سطحى طبقة الزيت (الأعلى والأسفل) ويرجع اختلاف اللون فى بعض الأماكن عن غيره الى الفرق فى سمك طبقة الزيت من نقطة الى أخرى . واذا انتظرت قليلا حتى يصبح سمك هذه الطبقة متماثلا ، ستجد أن طبقة الزيت تكتسب لونا موحدا فى جميع الأماكن ومع النقص فى سمك طبقة الزيت يتغير اللون تدريجيا من الأحمر الى الأصفر ، ومن الأصفر الى الأخضر ، ومن الأخضر الى الأزرق ، ثم من الأزرق الى البنفسجى نتيجة لتناقص الطول الموجى للضوء فاذا مضينا فى توسيع مساحة سطح الزيت نجد الألوان تختفى تماما وهذا لا يعنى أن طبقة الزيت قد اختفت ، ولكنه ببساطة يعنى أن سمكها أصبح أقل من أقصر طول موجى مرئى ، ومن ثم فان اللون يخرج عن مدى قدرتنا فى الرؤية . ومع ذلك سوف تظل قادرا على تمييز السطح الزيتى من السطح الخالى من الزيت ، ذلك أن شعاعى الضوء المنعكسين عن السطح العلوى والسطح السفلى للطبقة الرقيقة جدا سوف يتداخلان مما يؤدى الى اختزال شدة الاضاءة الكلية .

ولذا عندما تختفى الألوان ، يختلف السطح الزيتى عن السطح النقى فى أنه يظهر أكثر « قتامة » نوعا ما فى الضوء المنعكس ٠

وعند اجراء هذه التجربة عمليـا ، ستجد أن ملليمتر مكعبا من الزيت يمكن أن يغطى مساحة قدرها متر مربع من سطح المـاء تقريبا ، ولكن أى محاولة لزيادة هذه الرقعة لمساحة أكبر من ذلك ستؤدى الى ظهور فجوات من الماء النقى وسط هذه المساحة (٣) ٠

٣ ـ الأشعة الجزيئية :

من الأساليب الأخرى المثيرة لايضاح البناء الجزيئى للمادة ، هـذا الأسلوب المعروف فى دراسة تدفق الغازات والأبخرة عبر **فتحات** صغيرة الى الفضاء الخالى المحيطة بها ٠

افرض أن لدينا وعاء زجاجيا كبيرا مفرغا جيدا (شكل ٤٤) ويوجد بداخله فرن كهربائى صغير يتركب من اسطوانة من الصلصال بها ثقب صغير فى جدارها ، ويحيط بهذه الاسطوانة سلك مقاومة كهربائى لتوفير الحرارة ٠ فاذا وضعنا فى هذا الفرن قطعة من معدن سريع الانصهار مثل الصوديوم أو البوتاسيوم ، امتلأ التجويف الداخلى للاسطوانة ببخار المعدن الذى سوف يتسرب الى الفضاء المحيط من خلال الثقب الصغير الموجود فى جدار الاسطوانة وعندما يصل البخار الى زجاج الوعاء البارد يلتصق به وتدل الطبقة الرقيقة التى تشبه المرآة ، والتى تترسب على أجزاء مختلفة من الجدار الزجاجى على شكل حركة المادة بعد انطلاقها من الفرن ٠

وعلاوة على ذلك سنجد أن توزيع هذه الطبقة على الزجاج سيختلف تبعا لاختلاف درجات الحرارة فى الفرن ٠ فعندما تزداد سخونة الفرن بحيث تكون كثافة بخار المعدن بداخله مرتفعة الى حد ما ، سوف تبدو

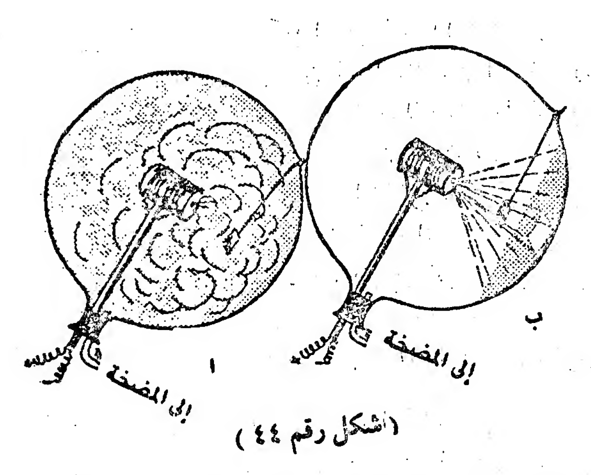
---

(٣) اذن ما مدى رقة طبقة الزيت قبل ظهور الفجوات فيها مباشرة ؟ وحتى يتسنى لك اجراء الحسابات المطلوبة افترض أن القطيرة المحتوية على ملليمتر مكعب من الزيت هى مكعب فعلا كل ضلع فيـه يساوى ملليمتر مربع ٠ وحتى يكفى هذا الملليمتر المكعب من الزيت لتغطية مساحه متر مربع فان كل ملليمتر مربع من سطح مكعب الزيت المتصل بالماء لابد من زيادته بمعامل قدره ألف (من ملليمتر مربع الى متر مربع) ومن ثم فان الأبعاد الرأسية للمكعب الأصلى لابد أن تنقص بمعـامل قدره ١٠٠٠ × ١٠٠٠ = مليون وذلك حتى يظل الحجم الكلى ثابتا ٠ فنحصل على القيمة التالية بالنسبة لسمك طبقة الزيت ومن ثم حجم جزيئه :

$$١ر\ \text{سم} \times ١٠^{-٦} = ١٠^{-٧}\ \text{سم}$$

ولما كان جزىء الزيت مكونا من عدة ذرات فان حجم الذرة يكون أصغر من ذلك نسبيا ٠

هذه الظاهرة مألوفة لأى شخص سبق أن شاهد البخار المنبعث من غلاية الشاى أو المحرك البخارى . وبعد المرور من الفتحة ينتشر البخار فى جميع الاتجاهات (شكل ٤٤ أ) بحيث يملأ الفراغ الكلى للانتفاخ ، ويرسب طبقة متجانسة تقريبا على جدار الزجاج ، ومع ذلك فعند درجات الحرارة الصغرى ، عندما تقل كثافة البخار داخل الفرن يختلف سلوك هـــذه الظاهرة تماما . فبدلا من الانتشار فى كافة الاتجـــاهات يتحرك البخار الخارج فى خط مستقيم ويترسب أغلبه على الجدار المقابل لفتحة الفرن . ويمكن اظهار هذه الحقيقة بشكل أوضح عن طريق وضع جسم صغير أمام الفتحة (شكل ٤٤ ب) حيث لن تجد مادة مترسبة على الجدار الزجاجى خلف هذا الجسم ، وسوف تكون هذه المساحة الخالية مكافئة هندسيا تماما لظل هذا الجسم .



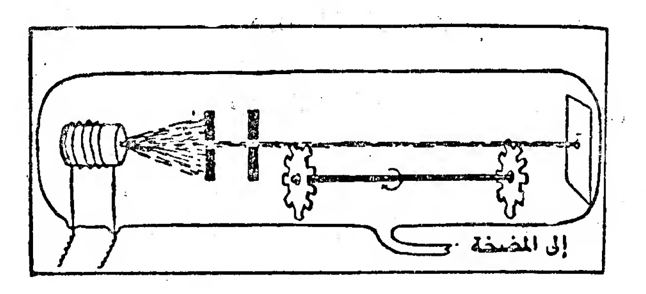
(شكل رقم ٤٤)

ويمكن تفهم هذا الفارق فى سلوك البخـــار المنطلق بكثافة عالية ومنخفضة بسهولة اذا تذكرنا أن البخار يتكون من عدد كبير من الجزيئات المنفصلة التى تندفع فى الفضاء فى كافة الاتجاهات ، وتصطدم مع بعضها باستمرار فعندما تكون كثافة تيار الغاز عالية عند اندفاعه من الفتحة ، يصبح الأمر شبيها بالجمهور المسعور الذى يندفع من أبواب الخروج لمسرح مشتعل بالنار ، فبعد الخروج من الباب يستمر الجمهور فى تدافعه وينتشر أفراده فى جميع الاتجاهات فى الشارع . أما عندما تقل كثافة التيار ، يصبح الأمر كما لو كان هناك شخص واحد يمر من الباب ويليه شخص آخر بالدور وبالتالى يخرج الصف مستقيما دون تداخل .

ويعرف تيار بخار المادة المنخفض الكثافة ، والذى ينطلق من فتحة الفرن بـ « الشعاع الجزيئى » ، وهو يتكون من عدد كبير من الجزيئات المنفصلة التى تطير فى الفضاء بجانب بعضها البعض . وهذا الشعاع

الجزيئى يعتبر ذا نفع كبير فى دراسة خواص الجزيئات كل على حدة ، فيمكن للمرء على سبيل المثـال أن يستعين به فى قيـاس سرعة الحركة الحرارية ٠

ولقد كان « أوتوشترن » أول من صمم جهازا لدراسة سرعة مثل هذه الأشعة الجزيئية ، وهذا الجهاز شبيه من الناحية العملية بالجهاز الذى استخدمه فيزو لقياس سرعة الضوء (انظر شكل ٣١) فهو يتكون من عجلتين مسننتين مركبتين على محور مشترك ، وهو معد بحيث لا يسمح للشعاع الجزيئى بالمرور الا عندما تكون السرعة الزاوية للاهتزاز مناسبة لمروره تماما (شكل ٤٥) . وعن طريق استخدام حاجز أمام الأشعة الجزيئية لا يسمح الا بمرور شعاع واحد دقيق ، تمكن « شترن » من ايضـــاح أن السرعة الجزيئية هى بصفة عامة سرعة عاليـــة جـدا (سرعة ذرات الصوديوم تصل الى ٥ر١ كم/ث عند درجة حرارة ٢٠٠° مئوية) ، وأن هذه السرعة تتناسب طرديا مع درجة الحرارة ٠ وهذا يوفر لنا دليلا مباشرا على النظرية الحركية للحرارة التى وفقا لها تعتبر زيادة حرارة جسم مجرد زيادة فى الحركة الحرارية غير المنتظمة فى جزيئاته ٠

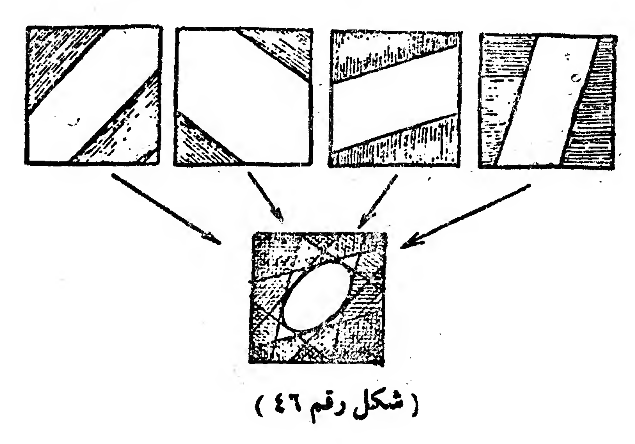


(شكل رقم ٤٥)

٤ ـ التصوير الذرى :

على الرغم من أن الأمثلة السابقة لا تكاد تدع سبيلا الى الشك فى صحة الافتراض بوجود الذرة ، ولكن هذا لا يلغى قيمة « الرؤية من أجل اليقين » ، لذا فان أكثر الأدلة على اقناعنا على وجود الذرات والجزيئات ظل متمثلا فى رؤيتها بالعين البشرية رغم ضآلتها الشديدة ولم يتحقق هذا الانجاز الا منذ عهد قريب نســـــبيا على يدى الفيزيائى البريطانى « و٠ ل٠ براج » الذى ابتكر طريقة للحصول على صور الذرات والجزيئات منفصلة فى الأجسام البلورية المختلفة ٠

ولا تظن أن تصوير الذرات عملية سهلة ، اذ ان عليك أن تضع فى الحسبان أن صورة هذه الأجسام الدقيقة ستكون مطموسة تماما مالم يكن الطول الموجى لشعاع المضىء أقصر من أبعاد الجسم المراد تصويره فلا يمكن رسم منمنمة من منمنمات مخطوطة فارسية دقيقة باستخدام فرشاة الطلاء المنزلية • ويدرك البيولوجيون الذين يتعاملون مع الكائنات المجهرية حجم هذه المشكلة • تماما اذ أن حجم البكتريا (٠٠٠١ر٠ سم تقريبا) يساوى الطول الموجى للضوء المرئى • وحتى يتمكنوا من الحصول على صور أكثر دقة وتحديدا للبكتريا فانهم يلتقطون هذه الصور المجهرية بالأشعة فوق البنفسجية (*) ، وهكذا يحصلون على نتائج أفضل نوعا من النتائج التى يمكن الحصول عليها تحت ظروف أخرى • ولكن حجم الجزيئات والمسافات الموجودة بينها فى نسق بلورى يكون صغيرا جدا (٠٠٠٠٠٠٠١ر٠ سم) الى درجة أنه لا الضوء المرئى ولا فوق البنفسجى يصبح ذا نفع اذا أريد استخدامه فى التصوير • فحتى يمكن تصوير الجزيئات على حدة لابد لنا حتما من استخدام اشعاع أقصر فى طوله الموجى بآلاف المرات من الضوء المرئى ، أو بعبارة أخرى ينبغى اســتخدام ما يعرف بأشعة اكس • ولكننا سنواجه هنا بمشكلة تبدو مستعصية على الحل : فأشعة اكس عمليا تنفذ من أى مادة دون انكسار ومن ثم لا يمكن للعدسة أو الميكروسكوب أو يؤديا وظيفتيهما باستخدام أشعة اكس • وهذه الخاصية بالاضافة الى النفاذية العالية لهذه الأشعة تعتبر بطبيعة الحال من الخواص النافعة جدا فى علوم الطب ، اذ ان انكسار الأشعة أثناء مرورها من الجسم يؤدى حتما الى طمس الصور على أن نفس هذه الخاصية قد تستبعد تماما امكانية الحصول على أى صورة مكبرة باستخدام أشعة اكس ! •



(شكل رقم ٤٦)

(*) أطوالها الموجية تقع بين ٤٠٠٠ انجشتروم و ٤٠٠ انجشتروم (المترجم) •

ويبدو الامر للوهلة الأولى باعثا على اليأس ، ولكن « و٠ل٠ براج » توصل الى طريقة عبقرية للتغلب على هذه العقبة ٠ وقد بنى دراساته على فكرة الميكروسكوب الرياضية التى وضعها « آبى » Abbé وتنص على أن أى صورة ميكروسكوبية يمكن اعتبارها تداخلا لعدد كبير من الأنماط المنفصلة ، وكل نمط يتمثل فى حزم من الخطوط المتوازية تخترق المجال بزاوية معينة ٠

وهناك مثال بسيط لايضاح الجملة السابقة ويظهر فى شكل (٤٦) الذى يبين كيفية الحصول على صورة لمساحة بيضاوية مضيئة وسط رقعة مظلمة ، عن طريق تداخل أربعة أنظمة حزمية ٠

ويعتمد نظام العمل فى الميكروسكوب وفقا لنظرية « آبى » على :

١ ـ تحليل الصورة الأصلية الى عدد كبير من الأنماط الحزمية المنفصلة ٠

٢ ـ تكبير كل نمط على حدة ٠

٣ ـ تداخل الأنماط مرة أخرى للحصول على الصورة المكبرة ٠

وربما كانت هذه الخطوات شبيهة بأسلوب طباعة الصور الملونة باستخدام عدد من الشرائح المفردة الملونة ٠ وبالنظر الى كل جزء ملون منفصل على حدة ستجد نفسك عاجزا عن تبين هذه الصورة ، ولكن عند تداخل هذه الأجزاء بالصورة السليمة تجد أن الصورة كلها تظهر واضحة ومحددة ٠

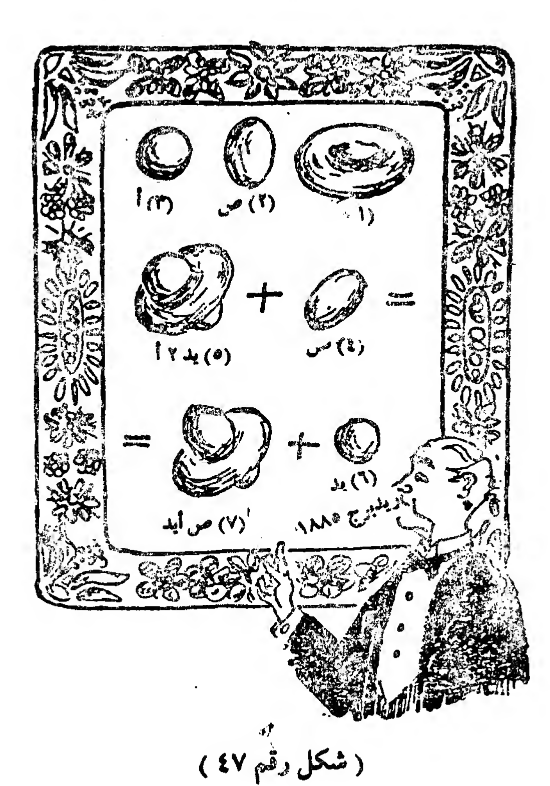
ان استحالة صناعة عدسة لأشعة اكس ، تقوم بأداء هذه العمليات كلها بشكل أتوماتى تضطرنا الى استخدام الأسلوب التدريجى خطوة خطوة : فنأخذ عددا كبيرا من أنماط حزم أشعة اكس للبلورة من جميع الزوايا ثم نحدث التداخل بينها بشكل مناسب على قطعة من ورق التصوير ، وبهذا نستطيع أن نقوم بنفس العمل الذى تؤديه عدسة أشعة اكس تماما ، ولكن بينما تقوم العدسة بهذه العملية فى الحال تقريبا نجد أن الطريقة الأخرى تستغرق عدة ساعات من العمل على يد خبير ماهر ٠ وهذا هو السبب فى أن استخدام طريقة « براج » تمكننا من الحصول على صورة للبلورات التى تكون الجزيئات فيها مستقرة فى مكانها ، ولكن لا يمكن الحصول على صورة لهذه الجزيئات فى السوائل والغازات حيث ان الجزيئات فيها لا تكف عن الحركة الشبيهة بالرقص الصاخب ٠

وعلى الرغم من أن الصورة المأخوذة باستخدام أسلوب « براج » لا يتم الحصول عليها عمليا بلقطة واحدة من الكاميرا الا أنها لا تقل جودة

ودقة عن أى صورة مركبة · ولن تجـــد من يعترض على أخذ صـــورة لكاتدرائية باستخدام عدد من الصور الجزئية المنفصلة اذا حالت الأسباب الفنية دون تصوير المبنى بأكمله على نيجاتيف واحد ! ·

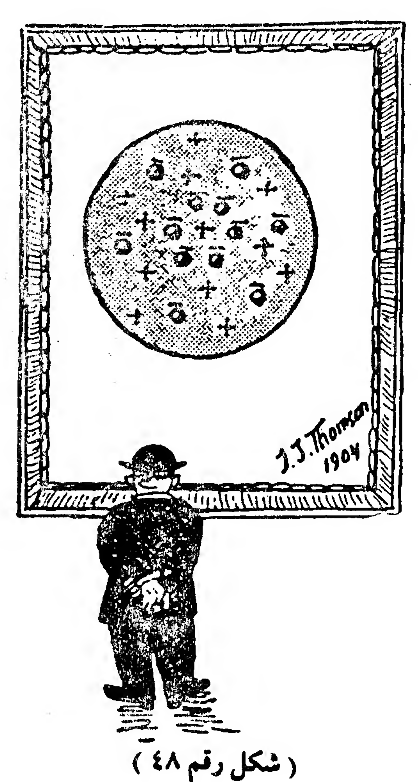
٥ ـ تحليل الذرة :

عندما أعطى « ديموقرطيس » للذرة هذا الاسم الذى يعنى بالاغريقية غير القابلة للانقسام ، كان يعنى بذلك أن هذه الوحدة تمثل أقصى حد يمكن الوصول اليه عند تقسيم المادة ، أو بعبارة أخرى أنها أصغر وحدة بنائية تتكون منها المادة · وبعد آلاف السنوات عندما تم ادماج الفكرة الفلسفية عن « الذرة » فى العلوم الطبيعية واكتسبت صورة متكاملة استنادا الى أدلة البحث التجريبى استمر الاعتقاد بعدم قابلية الذرة للانقســـام ، وأرجعت خصائص العناصر المختلفة فرضا الى اختلاف الشكل الهندسى لذراتها · فكان ينظر الى ذرة الهيدروجين مثلا باعتبارها كروية تقريبا ، بينما ساد الاعتقاد بأن الصوديوم والبوتاسيوم لهما شكل بيضـــاوى مستطيل ·



(شكل رقم ٤٧)

ومن ناحية أخرى كان أغلب الظن أن ذرة الأكسجين تشبه فى شكلها كعكة مستديرة مفرغة من النصف ، وهكذا فان جزىء الماء (يد٢أ) يمكن الحصول عليه بوضع ذرتى هيدروجين فى فتحة كعكة الأكسجين من أعلى وأسفل (شـــكل ٤٧) ٠ وقد فسر طرد الصوديوم أو البوتاســيوم للهيدروجين فى جزىء الماء حينئذ بأن ذرات الصـــوديوم والبوتاسيوم المستطيلة ، تناسب فتحة كعكة الأكســجين أكثر من ذرات الهيدروجين الكروية ٠



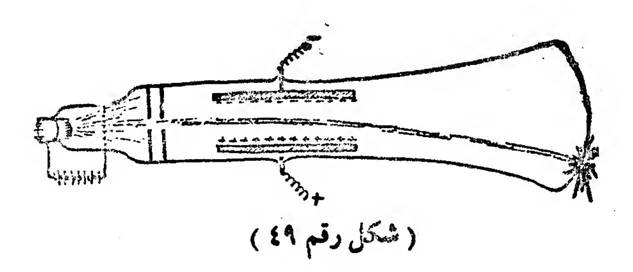
(شكل رقم ٤٨)

ووفقا لهذه الآراء فان الاختلاف فى الطيف المرئى المنبعث من العناصر المختلفة فسر على أنه نتيجة اختلافات ذبذبات الذرات المتباينة الأشكال ٠ وبناء على هذا المنطق حاول الفيزيائيون التوصل الى استنتاجات عن أشكال مختلف الذرات التى ينبعث منها الضوء بدراسة الضوء المنبعث منها ولكن بلا جدوى ، وذلك بنفس الأسلوب الذى نفسر به صوتيا الاختلافات فى النغمات الصادرة عن آلة الكمان ، وجرس الكنيسة ، وآلة الساكسفون ٠

ومع ذلك فان كل محاولات تفسير الخواص الكيميائية والفيزيائية المختلفة للذرات على أساس من أشـــكالها الهندسية لم تصادف نجاحا

ذا شأن ، وقد حدث أول تقدم فعلى فى تفهم خواص الذرة عندما أصبح من المعترف به أن الذرات ليست أجساما أولية بسيطة مختلفة الأشكال ولكنها على النقيض من ذلك نظم معقدة نوعا ما وتمتلك عددا كبيرا من الأجزاء المستقلة عن بعضها فى الحركة ٠

ويرجع شرف الريادة فى عملية تحليل جسد الذرة الدقيق الى الفيزيائى البريطانى الشهير « ج٠ ج٠ طومسون » الذى نجح فى ايضاح أن الذرات المختلفة للعناصر تتكون من أجزاء سالبة وأخرى موجبة تتماسك مع بعضها بتأثير قوى الجذب الكهربائى وقد تصور « طومسون » الذرة على أنها عدد من الشحنات الموجبة والسالبة المتحركة والموزعة فى داخلها بشكل متجانس تقريبا (شكل ٤٨) ومجموع الشحنات السالبة أو **الألكترونات** كما أطلق عليها يعادل الشحنة الكلية للأجزاء الموجبة بحيث تكون الذرة متعادلة فى مجموعها ٠ ومع ذلك فحيث ان الالكترونات يفترض أنها ترتبط بجسم الذرة ارتباطا ضعيفا نسبيا فمن الممكن انتزاع احداها أو عدد منها من الذرة بحيث تتحول الذرة بدونها الى ما يعرف **بالايونات الموجبة** (ions) ٠٠ ومن ناحية أخرى يطلق على الذرة التى تكتسب عددا اضافيا من الالكترونات **الايونات السالبة** ٠ وتعرف عملية اكتساب الذرة لشحنات زائدة سواء كانت سالبة أو موجبة **بالتأين** (ionisation) وقد بنى « طومسون » رأيه هذا على الأعمال القديمة « لمايكل فاراداى » الذى أثبت أنه عندما تحمل الذرة شحنة كهربية فانها تكون دائما من مضاعفات قيمة كهربية أولية تساوى عدديا ٧٧ر٥ × ١٠^-١٠ وحدة الكتروستاتيكية الا أن « طومسون » أضاف اضافة كبيرة الى نتائج « فاراداى » عندما أرجع الطبيعة الخاصة بالجزيئات الى هذه الشحنات الكهربية ، وذلك عن طريق تحديد الطرق التى يتم بها انتزاع هذه الشحنات من جسم الذرة ، ومن خلال دراسة الأطياف الصادرة عن الالكترونات التى تطير بسرعة عالية فى الفضاء ٠



(شكل رقم ٤٩)

وكان من النتائج ذات الأهمية الخاصة لدراسات « طومسون » عن الأشعة الصادرة عن الالكترونات الحرة تقدير كتلتها ٠ فقد أرسل شعاعا

من الالكترونات المنتزعة من بعض المواد مثل تلك التى تصنع منها الأسلاك الكهربائية الساخنة (شكل ٤٩) فى الفضاء الموجود بين صفيحتى أحد المكثفات المشحونة · ولما كانت هذه الالكترونات محملة بكهرباء سالبة أو على الأصح لما كانت هى نفسها شحنات سالبة حرة ، فقد انجذبت الى الالكترون الموجب وتنافرت مع السالب ·

ويمكن ملاحظة الانحراف الناتج بسهولة عن طريق السماح للشعاع بالسقوط على شاشة فلورسنت موضوعة وراء المكثف · وبمعرفة شحنة الألكترون ، وانحرافه فى مجال كهربى معين أصبح من الممكن تقدير كتلته ، وقد ثبت أنها ضئيلة جدا فى الواقع · والحق أن « طومسون » وجد أن كتلة الألكترون تقل عن كتلة ذرة الهيدروجين ١٨٤٠ مرة ، وهذا دليل على أن أغلب كتلة الذرة تتركز فى الأجزاء الموجبة منها ·

ورغم أن « طومسون » كان مصيبا تماما فى آرائه عن حشود الالكترونات السالبة التى تتحرك داخل الذرة ، الا أن الصواب جانبه كثيرا بالنسبة للتوزيع المتجانس للشحنات الموجبة داخل جسم الذرة فقد بين « رذرفورد » عام ١٩١١ أن كلا من الشحنة الموجبة للذرة وكذا الجزء الأكبر من كتلتها يتركزان فى نواة ضئيلة الحجم جدا وتقع فى مركز الذرة · وقد وصل الى هذا الاستنتاج كنتيجة لتجاربه الشهيرة على تشتت الأشعة المعروفة ب (جسيمات ألفا α) عند مرورها فى المواد · وتنطلق جسيمات أشعة ألفا الصغيرة بسرعة عالية عند انحلال ذرات بعض العناصر الثقيلة غير المستقرة (مثل اليورانيوم والراديوم) تلقائيا ، ولما كانت كتلة جسيمات ألفا قريبة من كتلة الذرة وشحنتها موجبة كما أثبت « رذرفورد » ، فقد كان لابد من اعتبارها شظايا للأصل الموجب فى الذرة · وعندما يخترق جسيم ألفا ذرات المادة الهدف ، فانه يتأثر بقوى الجذب نحو الالكترونات وقوى التنافر بعيدا عن الأجزاء الموجبة فى الذرة · ولما كانت الالكترونات خفيفة الوزن للغاية فانها لا تستطيع التأثير على جسيم ألفا الساقط أكثر من تأثير سرب من البعوض على حركة فيل يعدو مذعورا · ومن جهة أخرى فان التنافر بين الأجزاء الثقيلة الموجبة فى الذرة وشحنات جسيمات ألفا الساقطة لابد أن يؤدى الى انحراف الأخيرة عن مسارها العادى وتبعثرها فى الفضاء فى جميع الاتجاهات بشرط اختراقها للذرة على مسافات قريبة من بعضها بما يكفى ·

وعند دراسة تشتت الشعاع المكون من جسيمات ألفا والمار خلال شعيرة دقيقة من الألومنيوم توصل « رذرفورد » الى نتيجة مدهشة مؤداها انه لكى نفسر المشاهدات لابد لنا من افتراض أن المسافة بين جسيمات ألفا المارة والشحنة الموجبة للذرة أقل من جزء من الألف من قطر الذرة ·

وهذا بالطبع يستحيل الا اذا كان كل من جسيمات ألفا الساقطة والشحنات الموجبة للذرة أصغر بآلاف المرات من الذرة نفسها . وهكذا أدى هذا الاكتشاف الى اختزال الشحنة الموجبة الضخمة الى نواة ذرية صغيرة فى ذرة رذرفورد ، وتقع النواة فى مركز هذه الذرة تاركة ما عدا ذلك للالكترونات السالبة ، وبدلا من أن تشبه الذرة ثمرة البطيخ والالكترونات اللب الموجود فيها ، أصبحت صورتها أقرب للنظام الشمسى الدقيق حيث النواة هى الشمس ، والالكترونات من حولها كالكواكب (شكل ٥٠) .

ومما يقوى وجه الشبه بين الذرة والنظام الكوكبى الحقائق التالية : ان نواة الذرة تمثل ٩٩٫٩٧ فى المائة من كتلتها بالمقارنة بكتلة الشمس التى تمثل ٩٩٫٨٧ من كتلة النظام الشمسى ، كما أن المسافة بين الألكترونات المقابلة للكواكب فى النظام الشمسى تزيد على أقطارها بنفس المعامل تقريبا (عدة آلاف من المرات تقريبا) وهو ما نجده عند مقارنة المسافة بين الكواكب بأقطارها .



(شكل رقم ٥٠)

ومع ذلك فان أقوى أوجه التشابه يكمن فى أن قوى الجذب الكهربى بين نواة الذرة والالكترونات ، تخضع لنفس القانون الرياضى وهو المربع المعكوس (٤) تماما كقوى الجاذبية التى تعمل بين الشمس والكواكب . وهذا يفسر دوران الالكترونات فى مسارات دائرية وبيضاوية حول النواة بما يشبه حركة الكواكب والنيازك فى النظام الشمسى .

ووفقا للآراء السابقة عن التركيب الداخلى للذرة فلابد من ارجاع الاختلاف بين ذرات العناصر الكيميائية المتباينة الى اختلاف عدد الالكترونات التى تدور حول أنويتها . ولما كانت الذرة متعادلة ككل فلابد أن عدد

---

(٤) أى أن القوى تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين الجسمين المتأثرين بها .

الالكترونات التى تدور حول النواة يتحدد بعدد الشحنات الموجبة الموجودة فى هذه النواة ذاتها ٠

ويمكن تقدير أى منهما مباشرة من التشتت الملحوظ بجسيمات ألفا التى تنحرف عن مساراتها نتيجة للتفاعل الكهربى مع النواة ٠ وقد وجد « رذرفورد » أنه : فى الترتيب الطبيعى للعناصر الكيميائية المرتبة وفقا للتزايد فى أوزانها هناك زيادة بمقدار ألكترون واحد فى كل عنصر عن الذى يشبعه ٠ وهكذا فان ذرة الهيدروجين تحتوى على ألكترون واحد ، ويوجد ألكترونان فى ذرة الهليوم ، بينما تحتوى ذرة الليثيوم على ٣ ألكترونات ، والبرليوم على ٤ ألكترونات وهكذا حتى أثقل العناصر الطبيعية وهو اليورانيوم الذى يحتوى على اجمالى ٦٢ الكترونا (٥) ٠

ويعرف هذا التوصيف الرقمى للذرة عادة **بالعدد الذرى** للعنصر محل البحث ، وهو يوافق ترتيبه الموضعى أو المكان الذى وضعه الكيميائيون فيه وفقا لخواصه الكيميائية ٠

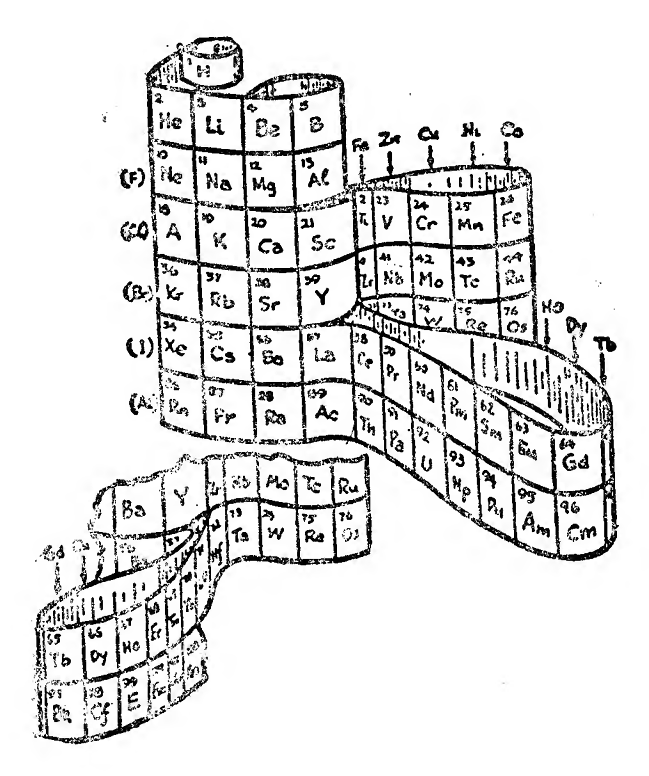
ولذا فان جميع الخواص الطبيعية والكيميائية لأى عنصر مفترض يمكن تعيينها ببساطة عن طريق ذكر رقم واحد وهو عدد الالكترونات التى تدور حول نواة الذرة ٠

وقد لاحظ الكيميائى الروسى « د٠ مندليف » قبيل نهاية القرن الماضى تكرارا دوريا هاما للخواص الكيميائية للعناصر المرتبة ترتيبا طبيعيا ٠ فقد وجد أن خواص العناصر تبدأ فى تكرار نفسها بعد عدد معين من الخطوات وهذه الدورية تظهر فى رسم ايضاحى بالشكل (٥١) والذى تظهر فيه رموز جميع العناصر المعروفة حاليا على شريط ملتف حلزونيا على سطح اسطوانة بحيث تصطف العناصر المتشابهة فى خواصها فى أعمدة ٠ ونجد أن المجموعة الاولى لا تحتوى الا على عنصرين : وهما الهيدروجين والهليوم ثم نجد مجموعتين يتكون منهما من ثمانية عناصر ، وفى النهاية تكرر الخواص نفسها بعد كل ١٨ عنصرا ٠ فاذا تذكرنا أن كل خطوة فى هذا التتابع للعناصر تقابل زيادة مقدارها الكترون واحد فى الذرة ، فلنا أن نستنتج أن الدورية التى نلاحظها فى خواص العناصر الكيميائية ترجع دون شك الى التكرار البنائى فى الذرة لأنماط ثابتة من الالكترونات أو « الأغلفة الالكترونية » ٠ فالغلاف الالكترونى الأول لابد أن يتكون من ألكترونين ، والثانى من ثمانية الكترونات ، ثم تحتوى باقى

---

(٥) والآن بعد أن تعلمنا فن الكيمياء نستطيع أن نحصل صناعيا على ذرات أكثر تعقيدا ٠ ولذا فان العنصر الصناعى المستخدم فى القنابل الذرية وهو **البلوتونيوم** يحتوى على ٩٤ ألكترونا ٠

الأغلفة على ١٨ ألكترونا فى كل منها · ونلاحظ أيضا من شكل (٥١)
أن الدورية الصارمة للخواص تبدأ فى الاختلال فى الدورة السادســـة
والسابعة قليلا ، وأن هناك مجموعتين من العناصر (وهما أكاسيد عناصر
الأتربة النادرة والاكتينات) يجب وضعهما على شريط بارز عن الســطح
الاسطوانى المنتظم · ويرجع هذا الشذوذ الى أننـــا نواجه هنا اعادة
ما للترتيب الداخلى للأغلفة الالكترونية مما يحدث نوعا من الثورة فى
الخواص الكيميائية للعناصر المذكورة ·



شكل رقم (٥١)

نظـرة أماميــة

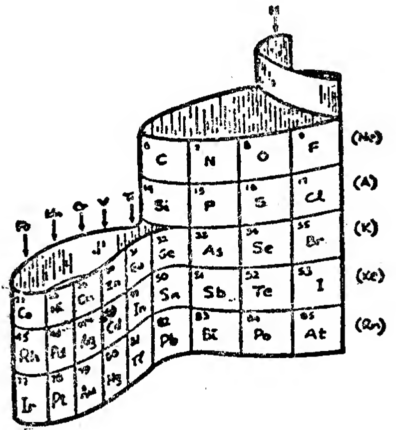
الرموز والأوزان الذرية لمائة وثلاثة عناصر كيميائية

العنصر	الرمز	الوزن الذرى	العنصر	الرمز	الوزن الذرى
اكتينيوم	Ae	٢٢٧	نوبيليوم	No	٢٥٣
الومنيوم	Al	٢٦ر٩٧	يوربيوم	Eu	١٥٢ر٠
امريكيوم	Am	٢٤٣	فرميوم	Fm	٢٢٥
انتيمون	Sb	١٢١ر٧٦	فلور	F	١٩
ارجون	A	٣٩ر٩٤٤	فرانسيوم	Fm	٢٣٣
الزرنيخ	As	٧٤ر٩١	جادولينيوم	Gd	١٥٦ر٩
استاتين	At	٢١٠	جاليوم	Ga	٦٩ر٧٢
باريوم	Ba	١٣٧ر٣٦	جرمانيوم	Ge	٧٢ر٦٠
بركيليوم	Bk	٢٤٥	ذهب	Au	١٩٧ر٢
بزموت	Be	٩ر٠٢	هافنيوم	Hf	١٧٨ر٦
بيريليوم	Bi	٢٠٩ر٠٠	هيليــوم	He	٤ر٠٠٣
بورون	B	١٠ر٨٢	هولميوم	Ho	١٦٣ر٥
بروم	Br	٧٩ر٩١٦	هيدروجين	H	١ر٠٠٨
كادميوم	Cd	١١٢ر٤١	انديوم	In	١١٤ر٧٦
سيزوميوم	Cs	١٣٢ر٩١	يود	I	١٢٦ر٩٢
كالسيوم	Ca	٤٠ر٠٨	ايريديام	Ir	١٩٣ر١
كاليفورنيوم	Cf	٢٤٦	حديد	Fe	٥٥ر٨٥
كربون	C	١٢ر٠١٠	كريبتون	Kr	٨٣ر٧٠
سيريوم	Ce	١٤٠ر١٣	لانثانوم	La	١٣٨ر٩٢
كلور	Cl	٣٥ر٤٥٧	لورنسيوم	Lw	٢٥٧ر٠٠
كروم	Cr	٥٢ر٠١	الرصاص	Pb	٢٠٧ر٢١
كوبلت	Co	٥٨ر٩٤	ليثيوم	Li	٦ر٩٤٠
نحاس	Cu	٦٣ر٥٧	ليتيوم	Lu	١٧٤ر٩٩
كوريوم	Cm	٢٤٣	مغنسيوم	Mg	٢٤ر٣٢
ديسبروزيوم	Dy	١٦٢ر٤٦	منجنيز	Mn	٥٤ر٩٣
اينشتينيوم	Es	٢٥٤	مندلينيوم	Md	٢٤٦
اربيوم	Er	١٦٧ر٢	زئبق	Hg	٢٠٠ر٦١
نيوديميوم	Nd	١٤٤ر٢٧	موليبدنيوم	Mo	٩٥ر٩٥
نبتونيوم	Np	٢٣٧	سيليكون	Si	٢٨ر٠٦
نيون	Ne	٢٠ر١٨٣	فضة	Ag	١٠٧ر٨٨٠
نيكل	Ni	٥٨ر٦٩	صوديوم	Na	٢٢ر٩٩٧
نيوبيوم	Nb	٩٢ر٩١	سترونشيوم	Sr	٨٧ر٦٣
نيتروجين	N	١٤ر٠٠٨	كبريت	S	٣٢ر٠٦

(تابع) الرموز والأوزان الذرية لمائة وثلاث عناصر كيميائية

العنصر	الرمز	الوزن الذرى	العنصر	الرمز	الوزن الذرى
تانتالم	Ta	١٨٠ر٨٨	ساماريوم	Sm	١٥٣ر٤٣
تكنيتيوم	Tc	٩٩	سكانديوم	Sc	٤٥ر١٠
أوزميوم	Os	١٩٠ر٢	سيلينيوم	Se	٧٨ر٩٦
اوكسجين	O	١٦ر٠٠٠	تليوريو	Te	١٢٧ر٠٦١
بالاديوم	Pd	١٠٦ر٧	تربيوم	Th	١٥٩ر٢
فوسفور	P	٣٠ر٩٨	ثاليوم	Tl	٢٠٤ر٣٩
بلاتين	Pt	١٩٥ر٢٢	ثوريوم	Th	٢٣٢ر١٢
بلوتونيوم	Pu	٢٤٢	ثيليوم	Tm	١٦٩ر٤
بولونيوم	Po	٢١٠	قصدير	Sn	١١٨ر٧٠
بوتاسيوم	K	٣٩ر٠٩٦	تيتانيوم	Ti	٤٧ر٩٠
براسيوديميوم	Pr	١٤٠ر٩٢	تنجستون	W	١٨٣ر٩٢
بروميثيوم	Pm	١٤٥	يورنيوم	U	٢٣٨ر٠٧
بروتاكتنيوم	Ps	٢٣١	فانديوم	V	٥٠ر٩٥
راديوم	Ra	٢٢٦ر٠٥	زينوم	Xe	١٣١ر٣
رادون	Rn	٢٢٢	يتربيوم	Yb	١٧٣ر٠٤
رينيوم	Re	١٨٦ر٣١	يتريوم	Y	٨٨ر٩٢
روديوم	Rh	١٠٢ر٩١	خارصين	Zn	٦٥ر٣٨
روتنيوم	Ru	٨٥ر٤٨	زركونيوم	Zr	٩١ر٢٢
ربيديوم	Rb	١٠١ر٠٧			

والآن برسم صورة للذرة يمكننا أن نحاول الاجابة على هذا التساؤل الخاص بالقوى التى تربط بين ذرات لعناصر مختلفة فى الجزيئات المعقدة . التى تتكون منها العناصر الكيميائية الكثيرة . فلم تتحد ذرتا الصوديوم والكلور مثلا لتعطيا فى النهاية جزيئـــا من ملح المائدة ؟ . فانظر الى شكل (٥٢) الذى يصور لنا أغلفة هاتين الذرتين حيث تنقص ذرة الكلور الكترونا واحدا حتى يصبح مدارها الثالث مكتملا (الغلاف الثالث) فى حين أن ذرة الصوديوم تحتوى على الكترون زائد بعد اكتمال غلافها الثـانى . لذا فلابد من أن يميل الالكترون الزائد فى ذرة الصوديوم الى الانتقال الى ذرة الكلور لاكمال الغلاف الناقص ونتيجة لهذا الانتقـــال تصبح ذرة الصوديوم موجبة الشحنة (بفقدها الكترونا سالبا واحدا) . على حين تكتسب ذرة الكلور شحنة ســـالبة . وبتأثير قوى التجـاذب الكهربى بينهما ترتبط الذرتان المشحونتان (أو الأيونان كما يطلق عليهمـــا) مكونين معا جزيئا من كلوريد الصوديوم أو بعبارة واضحة ، ملح الطعام .
وبنفس الطريقة « تخطف » ذرة الاكسجين التى تحتاج الى الكترونين لاكمال عدد الالكترونات فى غلافها الخارجى – الالكترون الوحيد فى ذرتين من الهيدروجين ليكونوا معا جزيئا من الماء (يد٢ أ) . ومن ناحية أخرى لا يوجد هذا الميل للاتحاد بين ذرتى الاكسجين والكلور ، أو بين ذرتى



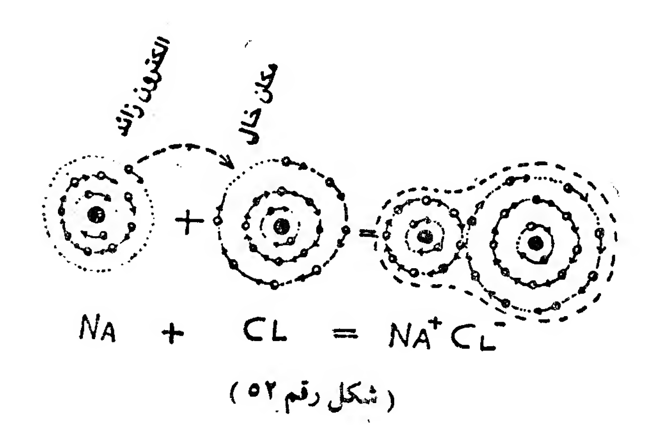
(شكل رقم ٥١)

فقرة من الخلف

النظام الدورى للعناصر مرتبة على شريط ملفوف يبين الدوريات ٢ ، ٨ ، ١٨ . ويوضح الشكل السفلى على الصفحة المقابلة الجانب الآخر من عروة العناصر (أكاسيد عنـاصر الأتربة النادرة والاكتينات) والتى تشــذ عن الدورية المنتظمة .

الهيدروجين والصوديوم حيث انه فى الحالة الأولى تميل كل من الذرتين الى الاكتساب وليس الفقد ، والعكس فى الحالة الثانية •

أما الذرات ذات الأغلفة المكتملة الالكترونات مثل الهليوم ، والأرجون والنيون ، والزينوم فانها تتمتع باكتفاء ذاتى ولا تحتاج الى اكتساب أو فقد ألكترونات اضافية • فهى تفضل بقاءها فى عزلتها بحيث تجعل العناصر المقابلة (ما يطلق عليه « الغازات النادرة ») خاملة كيميائيا •



(شكل رقم ٥٢)

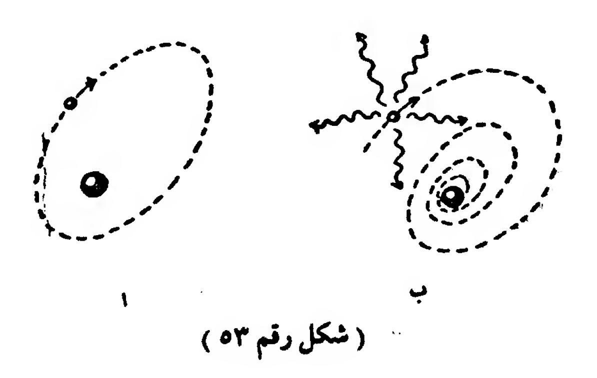
رسم تخطيطى يمثل اتحاد ذرتى الصوديوم والكلور لتكوين جزىء من كلوريد الصوديوم •

ونختم هذا الجزء عن الذرات وأغلفتها الألكترونية بالاشارة الى الدور الهام الذى تقوم به الألكترونات الذرية فى العناصر المعروفة عادة تحت الاسم الشامل « الفلزات » • وتختلف العناصر الفلزية عن كافة العناصر الأخرى فى أن المدار الخارجى لهذه الذرات ضعيف الترابط الى حد ما وغالبا ما تتحرر أحد ألكتروناته • لذا فان داخل المعدن يمتلىء بعـــدد كبير من الالكترونات غير المترابطة التى تدور دون هدف مثلها فى ذلك مثل جمهور من الرحالة . وعندما يتعرض سلك معدنى لقوى كهربائية تؤثر على طرفيه ، تندفع هذه الألكترونات الحرة فى اتجاه القوة وتؤدى بذلك الى حـدوث ما يعرف بالتيار الكهربى • كما أن وجود الذرات الحرة يعد أيضا مسئولا عن حرارة التوصيل العالية ــ على أن لنا عودة الى هذا الموضوع فى أحـد الفصول القادمة •

٦٠ ـ الميكانيكا المجهرية ومبدأ عدم اليقين :

بما أننا قد رأينا من الجزء السابق أن الذرة بنظام الالكترونات الدائرة حول النواة المركزية تشبه النظام الكوكبى كثيرا فطبيعى أن نتوقع أنها ستخضع لنفس القوانين الفلكية الراسخة التى تحكم حركة الكواكب حول الشمس · ولا سيما أن هناك تشابها بين قوانين الجذب الكهربى وقوانين الجاذبية ، اذ ان الجذب فى الحالتين يتناسب عكسيا مع مربع المسافة مما يوحى بأن الالكترونات ستتحرك فى مدارات بيضاوية تكون بؤرتها النواة (شكل ٥٣ أ) ·

ومع ذلك فان جميع المحاولات لرسم صورة منتظمة لحركة الالكترونات الذرية بنفس الأسلوب المستخدم فى تخطيط حركة نظامنا الكوكبى قد أدت حتى عهد قريب الى كارثة ضخمة كانت متوقعة الى حد ما ، حتى بدا لفترة وكان الطبيعيين والكيميائيين قد فقدوا رشدهم · وقد نشأت المشكلة أساسا عن الحقيقة التى مؤداها أن كواكب النظام الشمسى تختلف عن الألكترونات الذرية من حيث كون الأخيرة مشحونة كهربائيا ، وكما يصح على أى شحنات كهربية متذبذبة أو مهتزة فان حركتها الدائرية حول النواة ينتظر أن تسفر عن انبعاث اشعاع الكترومغناطيسى كثيف · ونتيجة لفقد الطاقة المنطلقة بالاشعاع ، من المنطقى أن نفترض أن الالكترونات الذرية ستقترب من النواة وتتحرك حولها فى مدارات حلزونية (شكل رقم ٥٣ ب) وأخيرا تسقط عليها عندما تستنفد الطاقة الحركية اللازمة للدوران فى الأغلفة تماما ، أما عن الوقت المستنفذ فى هذه العملية ، فقد كان من السهل نوعا ما أن نحسب من الشحنة الكهربية المعروفة وسرعة دوران الالكترونات أن الالكترون سوف يحتاج الى حوالى واحد من مائة من الميكروثانية لفقد كل طاقته والسقوط فى النواة ·



(شكل رقم ٥٣)

لذا فوفقا لأفضل ما توصل اليه الفيزيائيون من أفكار ومفاهيم حتى وقت قريب جدا فان البناء الذرى الشبيه بالنظام الشمسى سوف يعجز عن الصمود لأكثر من جزء بسيط من الثانية لا محالة ، وسوف يقدر له الانهيار الفورى بمجرد تكوينه تقريبا ٠

ولكن على الرغم من هذه التنبؤات الفيزيائية المتشائمة ، فقد أوضحت التجارب أن النظام الذرى شديد الثبات فى الواقع ، وأن الألكترونات الذرية تمضى دون فتور فى حركتها الدائرية حول النواة دون فقد أى طاقة أو ميل للانهيار ! ٠

ولكن كيف يمكن ذلك ؟! ولم يؤد تطبيق القوانين الخالدة الراسخة فى الميكانيكا على الذرات الى نتائج تتعارض تماما مع الأمر الواقع ؟ ٠

للاجابة على هذا السؤال تعال بنا الى أهم القضايا العلمية ٠ وهى مشكلة طبيعة العلم ذاته ٠ ما هو « العام » وماذا يقصد بالتفسير العلمى للحقائق الطبيعية ؟

وكمثال بسيط دعونا نذكركم أن من القدماء من كان يظن أن الأرض مسطحة ٠ وهم معذورون فى هذا الاعتقاد لأنك عندما تخرج الى أرض مكشوفة ، أو تبحر فى قارب على الماء سوف تجد بنفسك أن هذا أمر صحيح ، وفيما عدا ما يعترضك من تلال وجبال فان الأرض تبدو **مسطحة** . ويكمن خطأ القدماء ليس فى العبارة القائلة بأن « الأرض مسطحة على امتداد البصر من نقطة مراقبة معينة » ولكن **فى استقراء** هذه العبارة بما يخرج عن حدود المشاهدة الفعلية ٠ والحق أن المشاهدات التى تخطت الحدود التقليدية بكثير ، مثل دراسة شكل ظلال الأرض على القمر أثناء الخسوف ، أو رحلة « ماجيلان » الشهيرة حول العالم ، قد أثبتت فى الحال خطأ هذا الاستقراء ٠ ونحن الآن نقول أن الأرض لا تبدو مسطحة الا لأن ما نراه يمثل جزءا ضئيلا جدا من سطح الكرة الكلى ٠ وبالمثل كما ناقشنا فى الفصل الخامس فان الفضاء الكونى قد يكون مقوسا محدودا فى حجمه على الرغم من أنه يبدو منبسطا ولا نهائى بوضوح من وجهة نظر المشاهدات القاصرة ٠

ولكن ما علاقة ذلك بالتناقض الذى انتهينا اليه فى دراسة السلوك الميكانيكى للالكترونات المكونة لجسم الذرة ؟ ٠ والجواب أننا فى هذه الدراسات قد افترضنا ضمنا أن النظام الحركى للذرة يخضع تماما لنفس القوانين التى تحكم حركة الأجرام السماوية الضخمة ، أو فى هذه الحالة حركة الأجسام « ذات الحجم الطبيعى » التى تعودنا على التعامل معها فى حياتنا اليومية وبالتالى نستطيع أن نصفها بنفس الأسلوب ٠ والواقع أن

قوانين الميكانيكا ومفاهيمها تم التوصل اليها تجريبيا على الأجسام المادية القريبة فى الحجم من الكائنات البشرية .

وقد استخدمت نفس القوانين فيما بعد لتفسير حركة الأجسام الأضخم مثل الكواكب والنجوم ، ويبدو أن نجاح ميكانيكا الأجرام السماوية الذى يتيح لنا حساب الظواهر الفلكية بدقة متناهية لملايين الأعوام مستقبلا وفى الماضى لا يدع مجالا للشك فى صلاحية استقراء هذه القوانين المعتادة لتفسير حركة الكتل الكونية الضخمة .

ولكن ما الذى يضمن لنا أن نفس قوانين الميكانيكا ، التى تفسر حركة الأجرام السماوية العملاقة كما تفسر حركة قذائف المدفعية ، وبندول الساعة ، ولعبة النحلة الدوارة ، تنطبق أيضا على حركة الالكترونات التى هى أصغر ببلايين وبلايين المرات وأخف وزنا كذلك من أقل جسم متحرك وقع فى أيدينا ؟ .

وليس هناك بالطبع سبب منطقى **يجعلنا نفترض مقدما أن القوانين الميكانيكية العادية سوف تفشل فى تفسير حركة المكونات الضئيلة للذرة ، ولكن ينبغى ألا ندهش كثيرا ، اذا وجدنا هذا الفشل أمرا واقعا حقا .**

لذا فان التناقض فى النتائج بسبب محاولة رسم حركة الالكترونات فى الذرة بنفس الطريقة التى يستخدمها علماء الفلك فى تفسير حركة الكواكب فى النظام الشمسى لابد من دراسته قبل أى شىء فى ضوء التغيرات الممكنة ـ فى مفاهيم وقوانين الميكانيكا التقليدية الأولية ـ عند تطبيقها على أجسام فى مثل هذه الضآلة .

ومن القوانين الأولية فى هذه الميكانيكا قوانين **المسار** التى تظهر فى حركة الجزيئات وقوانين **السرعة** التى يتحرك الجسم وفقا لها فى مساره . ولقد كانت النظرية التى تقول **ان أى جسم مادى متحرك يحتل فى أى زمن فرضى موقعا محددا من الفضاء ، وان المواضع المتتالية لهذا الجسم** ترسم **خطا متصلا لمساره ـ** تعد دائما من القوانين التى لا تحتاج الى برهان ، لذا شكلت أساسا هاما لوصف حركة أى جسم مادى . والمسافة بين موقعين يحتلهما جسم فرضى فى لحظتين مختلفتين من الزمن ، مقسومة على الفترة الزمنية المقابلة تؤدى الى معرفة السرعة ، وقد بنيت الميكانيكا الكلاسيكية بالكامل على هذين المفهومين للموقع والسرعة . وحتى وقت قريب جدا لم يكن يخطر ببال أى عالم أن أيا من هذين القانونين الأعظمين واللذين استخدما فى وصف ظاهرة الحركة يمكن أن يتطرق اليهما الخطأ مهما كان حجمه ، وقد تعارف الفلاسفة على اعتبارهما من « المسلمات » .

ومع ذلك فان هذا الانقلاب الكامل الذى نشأ عن أول محاولة لتطبيق الميكانيكا الكلاسيكية على وصف حركة الأجسام داخل نظام بالغ الصغر

أوضح أن هناك خطأ جوهريا فى هذه الحالة ، مما أدى الى الاعتقاد المتزايد فى أن هذا « الخطأ » يمتد الى قوانين أساسية للغاية من بين تلك القوانين التى بنيت عليها الميكانيكا الكلاسيكية ٠

وبدت المفاهيم الكينماتية (*) الأساسية للمسار المستمر لجسم متحرك وسرعته المحددة بدقة فى أى زمن فرضى شديد الجمود حال تطبيقها على أى أجزاء صغيرة داخل الميكانيزم الذرى ٠ وبايجاز نقـــول ان محاولة استقراء أفكار الميكانيكا الكلاسيكية المألوفة على نطاق الكتل البالغة الضآلة قد أثبتت فى النهاية أنه لا بديل عن تغيير هذه الأفكار بشـــكل جذرى نوعا ما عند اجراء هذه المحاولة ولكن اذا كانت المفـــاهيم الكلاسيكية لا تنطبق على عالم الذرة ، فلابد أنها ليست صحيحة تماما بالنسبة لحركة الأجسام الأكبر حجما ٠

وهكذا نجد أنفسنا مدفوعين الى النتيجة التى مفادها أن المبادىء التى تقوم عليها الميكانيكا الكلاسيكية لابد من اعتبـــارها جسرا لا يصـــلح الا لاعطاء تقديرات قريبة جدا من « الشىء الأصلى » وهى تقديرات تفشل فشـــلا ذريعا بمجرد أن نحاول تطبيقها على نظم أكثر دقة من تلك التى وضعت لها أصلا ٠

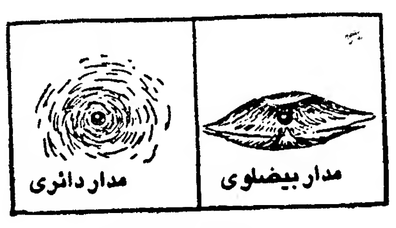
ويكمن العنصر الجديد الذى استحدث فى العلم نتيجة لدراســـة السلوك الميكانيكى للنظم الذرية ، وللقوانين التى عرفت بفيزياء الكم فى اكتشاف الحقيقة التى مؤداها أن هناك حدا أدنى معينا لأى تفاعل ممكن بين جسمين مختلفين ، وهذا الاكتشاف يقلب التعريفات الكلاسيكية عن مسار الجسم المتحرك رأسا على عقب ٠ والحقيقة أن العبارة التى تقول ان ثمة شيئا مثل المسار الرياضى المسحوب بدقة لجسم متحرك تنطوى على امكانية تسجيل هذا المسار باستخدام جهاز معد خصيصا لذلك ٠ ومع هذا فينبغى ألا ننسى عند تسجيل مسار أى جسم متحرك أننا سوف نحدث خللا لا محالة فى الحركة الأصلية ، والواقع لو أن الجسم المتحرك قد أثر بقوة ما على جهاز القياس الذى يسجل مواقعه المتتابعة فى الفضاء ، فان الجهاز يؤثر برد فعل على هذا الجسم تبعا لقوانين نيوتن عن التساوى بين الفعل ورد الفعل ٠ فاذا استطعنا الحد من هذا الأثر الى أقل درجة ممكنة كما كان مفترضا فى الفيزياء الكلاسيكية (والأثر هنا هو الفعل ورد الفعل بين الجسيم المتحرك والجهاز المستخدم لتسجيل موقعه) نستطيع أن نتصور جهازا مثاليا حساسا الى درجة أنه يستطيع تسجيل المواقع المتتالية للجسم المتحرك دون احداث أى خلل فى الحركة عمليا ٠

(*) المتعلقة بعلم الحركة المجردة (المترجم) ٠

ان وجود **حد أدنى للتفاعل الفيزيقى** يغير الوضع تغييرا جذريا الى حد ما ، ذلك أننا لا نستطيع أن نقلل من الخلل الناتج عن عملية التسجيل الى قيم حكمية ضئيلة · **لذا فان الخلل الحركى الناشىء عن مراقبتها يصبح جزءا لا يتجزأ من الحركة نفسها** ، وبدلا من أن نتحدث عن الخط الرياضى الدقيق الممثل للمسار ، نجد أنفسنا مضطرين الى استخدام تعبير حزمة منتشرة عريضة ومن ثم فان **المسارات الرياضية المحددة فى الفيزياء القديمة تتحول الى حزم كثيفة فى عيون علماء الميكانيكا المعاصرين** ·

ان الحد الأدنى للتفاعل الطبيعى ، أو **كم الفعل** كما يطلق عليه هو مع ذلك ذو قيمة عددية ضئيلة ، وعديم الأهمية الا عند دراسة حركة الأجسام المتناهية فى الصغر · لذا فان مسار طلقة المسدس مثلا على الرغم من أنه حسابيا ليس خطا حادا الا أن « سمك » هذا المسار يقل مرات ومرات عن حجم ذرة واحدة من المادة المصنوع منها الطلقة ، ومن ثم يمكن أن نفترض عمليا أنه مساو للصفر ، ومع ذلك بالانتقال الى أجسام أخف تخضع للخلل الناشىء عن أجهزة القياس أكثر من غيرها نجد أن سمك مساراتها يصبح أكبر · وفى حالة الالكترونات الذرية التى تدور حول النواة المركزية يصبح مداراتها أقرب الى أقطارها ، ولذا بدلا من تمثيل حركتها باستخدام خط كما فعلنا فى شكل (٥٣) ، نحن مضطرون الى تصورها كما تراها فى شكل (٥٤) · وفى هذه الحالات لا يمكن وصف حركة الأجسام الصغيرة باستخدام التعابير المألوفة فى الميكانيكا الكلاسيكية ، ويخضع كل من موقعها وسرعتها لنوع من عدم التحديد (علاقات عدم التحديد لهيزنبرج وقاعدة بوهر التكميلية) (٦) ·

ويبدو أن هذا التطور المدهش فى الفيزياء القديمة ، والذى كان من نتائجه القاء كل المفاهيم المألوفة عن مسار حركة جسم صغير وتحديد موقعه وسرعته فى سلة المهملات ، قد تركتا صفر اليدين · فاذا كنا غير



(شكل رقم ٥٤) ·

صور ميكانيكية مجهرية للحركة الالكترونية فى الذرة

---

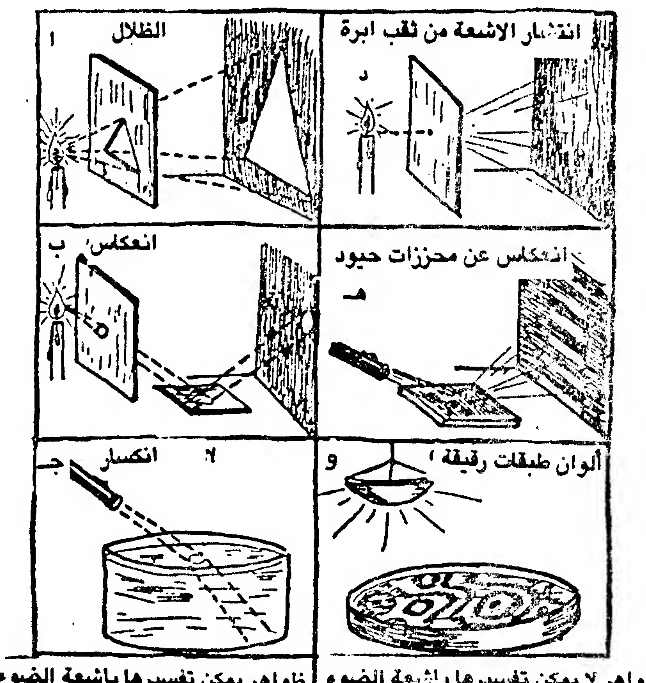
(٦) يمكن الوقوف على مناقشة أكثر تفصيلا لعلاقات عدم التحديد فى كتاب (**مستر تومبكينز فى بلاد العجائب**) **للمؤلف** · دار نشر ماكميلان نيويورك عام ١٩٤٠ ·

مسموح لنا أن نستخدم هذه المبادىء الأولية التى كانت مقبولة فيما مضى عند دراستنا للالكترونات الذرية ، فعلى أى شىء نستطيع أن نعتمد فى فهمنا لحركتها ؟ وما هى الصيغة الرياضية التى يجب احلالها محل أساليب الميكانيكا الكلاسيكية حتى نستطيع معالجة حالات عدم تحديد الموقع ، والسرعة ، والطاقة ، وما الى ذلك من الأشياء التى تتطلبها فيزياء الكم ؟ .

ونستطيع الاجابة على هذه الأسئلة من حالة شبيهة كانت قائمة فى النظرية الكلاسيكية للضوء : نحن نعلم أن أغلب ظواهر الضوء التى شاهدناها فى الحياة العادية يمكن تفسيرها بالاعتماد على الافتراض القائل ان الضوء ينتشر فى خطوط مستقيمة تعرف **بالأشعة الضوئية** . ولهذا فان شكل الظلال الناشئة عن سقوطها على جسم غير منفذ ، وانعكاس الأشعة عن المرايا بجميع أنواعها وأثر العدسات والأجهزة البصرية ، كل هذه الأمور يمكن تفسيرها بناء على القوانين الأولية التى تتحكم فى انعكاس الأشعة وتشتيتها (شكل ٥٥ أ ، ب ، ج) .

ولكننا نعرف أيضا أن مناهج الهندسة البصرية التى تفسر انتشار الضوء على أساس أنه ينتشر فى خطوط مستقيمة تفشل تماما عندما تكون الأبعاد الهندسية لفتحات مرور الأشعة مقاربة للطول الموجى للضوء . وهنا تظهر على السطح الظواهر المعروفة ب « **ظواهر الحيود** » ، التى تخرج تماما عن نطاق هندسة البصريات . لذا فان الشعاع الضوئى المار من فتحة ضيقة جدا (من رتبة الـ ٠٫٠٠١ سم) يعجز عن الانتشار فى خطوط مستقيمة وينتشت فى صورة أقرب الى المروحة بدلا من ذلك (شكل ٥٥ د) فاذا ما سقط شعاع ضوئى على مرآة حز سطحها عدد كبير من الخطوط الدقيقة المتوازية ، ويؤلف ما يعرف ب « محزوز الحيود » ، فانه لا يخضع لقوانين الانعكاس المألوفة ، ولكنه ينتشر فى مختلف الاتجاهات التى تتحدد بالمسافة بين الخطوط المحزوزة والطول الموجى للضوء الساقط (شكل ٥٥ هـ) . ومن المعروف أيضا أن انعكاس الضوء من طبقة رقيقة من الزيت المنتشر على سطح الماء يؤدى الى ظهور نظام غريب من الأهداب الفاتحة والقاتمة (شكل ٥٥ و) وفى جميع هذه الحالات ، يفشل المفهوم المألوف عن « الشعاع الضوئى » تماما فى وصف الظاهرة الملحوظة ، ونجد بدلا من ذلك نظام التوزيع المستمر للطاقة الضوئية فى الفضاء الكلى الذى يحتله النظام البصرى .

ومن السهل أن نفهم أن فشل مفهوم شعاع الضوء فى تطبيقه على ظاهرة التشتت البصرى يشبه كثيرا فشل **مفهوم المسار الميكانيكى فى** ظاهرة فيزياء الكم ، فكما نعجز فى البصريات عن الحصول على شعاع دقيق لا نهائى ، نجد أن مبادىء ميكانيكا الكم تحول بيننا وبين التحدث عن



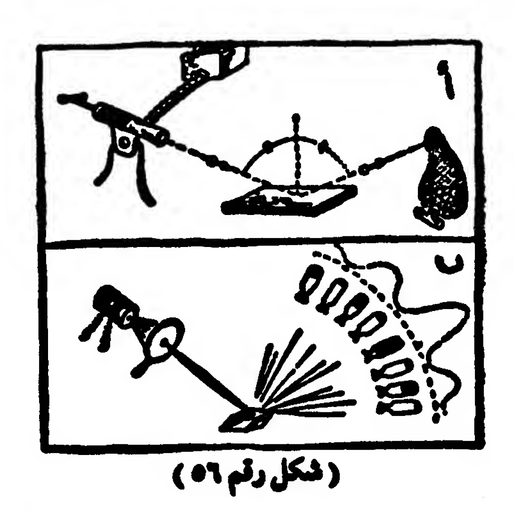
(شكل رقم ٥٥)

المسارات اللانهائية الدقيقة لجسيم متحرك . وفى الحالتين علينا أن نتخلى عن كافة محاولاتنا لوصف الظاهرة عن طريق القول ان شيئا ما (الضوء أو الجسيمات) ينتشر على امتداد خطوط رياضية معينة (أشعة بصرية ، أو مسارات ميكانيكية) ، ونحن مضطرون الى اللجوء فى عرض هذه الظاهرة المعروفة الى « شيء » ينتشر باستمرار فى الفضاء الكلى . وهذا « الشيء » فى حالة الضوء هو كثافة الذبذبات الضوئية عند نقاط مختلفة ، وفى الميكانيكا هو المفهوم الذى استحدث مؤخرا عن عدم التأكد من الموقع ، وهو احتمال وجود جسيم متحرك عند أى لحظة فرضية ، ليس فى نقطة محددة سلفا ، ولكن فى نقطة واحدة من عدة نقاط ممكنة . فلم يعد ممكنا أن نحدد **بالضبط** مكان جسيم متحرك فى لحظة فرضية ما ، على الرغم من أن الحدود التى يمكن فيها استخدام هذه الجملة يمكن حسابها بالصيغ الخاصة ب « علاقات عدم التحديد » .

ويمكن ايضاح العلاقة بين قوانين البصريات الموجية الخاصة بانتشار الضـــوء ، وقوانين « الميكانيكا المجهرية » أو « الموجيـــة » (وضع هذه القوانين ل. دى برولى ، و اى. شرودينجر) الخاصة بالحركة الميكانيكية للجسيمات بالتجارب التى توضح تشابه هذين النوعين من الظواهر .

وترى فى شكل (٥٦) الجهاز الذى استخدمه « شترن » فى دراسته للتشتت الذرى ، حيث ينعكس شعاع من ذرات الصوديوم ، نحصل عليه بالطريقة التى أوضحناها فيما سبق من هذا الفصل ، على سطح بلورى · وتعمل الطبقة الذرية المتجانسة التى تشكل النسق البلورى فى هــذه الحالة كمحزوز حيود للشعاع الساقط المكون من جسيمات صــغيرة ، ثم يتجمع شعاع الصوديوم الساقط بعد انعكاسه على سطح البلور فى سلسلة من الزجاجات الصغيرة الموضوعة على زوايا مختلفة ، ويتم حساب عدد الذرات المجموعة فى كل زجاجة بعناية : والخط المنحنى المتقطع فى هذا الشكل يعبر عن النتيجة ، ونجد أنه بدلا من انعكاس ذرات الصوديوم فى اتجاه محدد (كالكريات التى تنطلق من بندقية لعبة على سطح معدنى) يتشتت الصوديوم فى زاوية محددة تكون نموذجا شبيها جدا بما نلحظه فى تشتت أشعة اكس ·

ولا يمكن تفسير التجارب من هذا النوع اســـتنادا الى الميكانيكا الكلاسيكية التى تصف حركة الذرات المنفصلة بطول مسارات محــددة ، بل انها غير مفهومة اطلاقا من وجهة نظر علم الميكانيكا المجهرية المعاصر والذى ينظر الى حركة الجسيمات بنفس الشكل الذى ينظر به علم البصريات الحديث الى انتشار الموجات الضوئية ·



(شكل رقم ٥٦)

(ا) ظاهرة يمكن تفسيرها باستخدام مفهوم المسار (انعكاس محمل كريات على سطح معدنى) ·

(ب) ظاهرة غير قابلة للتفسير باستخدام مفهوم المســـار (انعكاس ذرات الصوديوم على سطح بلورى) ·

الفصل السابع

الكيمياء الحديثة

١ ـ الجسيمات الأولية :

بعد أن عرفنا أن ذرات العناصر الكيميائية المختلفة تمثل نظـــاما ميكانيكا معقدا الى حد ما ، حيث يوجد فيها عدد كبير من الالكترونات التى تدور حول النواة المركزية ، لا مفر لنا من أن نسأل عما اذا كانت لأنوية الذرية هى أصغر وحدة غير مرئيـــة من المادة ، أو أنها يمكن أن تنقسم بدورها الى أجزاء أصغر وأصغر • وهل يمـــكن أن يختزل عدد الأنماط الذرية المختلفة (٩٢) الى عدد أقل من الجسيمات البسيطة ؟

فى منتصف القرن الماضى أدت هذه الرغبة فى التبسيط الى دفع عالم كيميائى انجليزى هو « ويليام بروت » الى وضع فرضية تنص على أن :

ذرات جميع العناصر الكيمائية لهـــا طبيعـــة مشتركة ولا تمثـــل الا درجات مختلفة من « تركيز » ذرات الهيدروجين • وقد بنى « بروت » هذه الفرضية على الحقيقة التى مفادها أن الأوزان الذرية المحددة كيميائيا للعناصر المختلفة بالنسبة للهيدروجين هى غالبا قريبة جدا من العـــدد الصحيح • وهكذا فوفقا لرأى « بروت » لابد من النظر الى ذرة الاكسجين وهى أثقل من الهيدروجين بـ ١٦ مرة باعتبارها مكونة من ١٦ ذرة هيدروجين مجتمعة معا • وذرة اليود التى يبلغ وزنها ١٢٧ مرة قدر الهيدروجين لابد أنها تتكون من ١٢٧ ذرة هيدروجين معا وهكذا •

ومع ذلك فان الاكتشافات الكيميائية فى هذا الوقت لم تمل الى قبول هذه الفرضية الجريئة • فقد اتضح بالقياس الدقيق للأوزان الذرية أنها لا تساوى أرقاما صحيحة تماما ، ولكنها فى أغلب الأحيان تقترب من

الأرقام الصحيحة ، بل انها فى بعض الحالات أيضا تكون بعيدة عن هذه الأرقام (فالوزن الذرى للكلور على سبيل المثال هو ٣٥ر٥) ٠

وقد أدت هذه الحقائق التى تتعارض مباشرة وبوضوح مع فرضية « بروت » الى اسقاطها ، حتى مات بروت دون أن يعلم حتى مدى ما ذهب اليه من الصواب فى فكرته ٠

ولم يكتب لهذه الفرضية أن تبعث من جديد حتى عام ١٩١٦ عندما اكتشف الفيزيائى البريطانى « ف٠و أستون » أن الكلور العادى تتشابه خواصه الكيميائية رغم أن له وزنين ذريين صحيحين وهما ٣٥ ، ٣٧ ٠

وهذا الرقم غير الصحيح (٣٥ر٥) الذى حصل عليه الكيميائيون لا يمثل الا المتوسط الحسابى لهذا الخليط (١) ٠

وقد كشفت الدراسات اللاحقة للعناصر الكيميائية عن حقيقة مذهلة وهى أن أغلب هذه العناصر يتكون من خليط تشترك مكوناته فى خواصها الكيميائية وتختلف فى الوزن الذرى ٠ وقد أطلق عليها اسم **النظائر** (*) وهى عناصر تحتل نفس المكان فى الجدول الدورى (٢) ٠ وكان من أثر حقيقة أن كتل النظائر هى دائما مضاعفات لكتلة الهيدروجين أن بعثت الحياة فى فرضية بروت « المنسية » ، وقد رأينا فى الفصل السابق أن معظم كتلة الذرة يتركز فى النواة ، وبهذا يمكننا اعادة صياغة فرضية « بروت » بلغة عصرية فنقول : **ان الأنوية المختلفة تتركب من أعداد من أنوية الهيدروجين الأولية التى عرفت باسم خاص وهو « البروتونات » للدور الذى تقوم به فى بناء المادة ٠**

ورغم ذلك فهناك تعديل واحد هام يجب اجراؤه فى العبارة السابقة ٠ فانظر مثلا الى نواة ذرة الاكسجين التى تحتل الترتيب الثامن فى الجدول الطبيعى . فلابد أن ذرته تحتوى على ٨ ألكترونات ونواته تحتوى على ٨ شحنات أولية موجبة ٠ ولكن ذرة الاكسجين أثقل من ذرة

---

(١) حيث ان الكلور الأثقل وزنا يوجد بنسبة ٢٥٪ من الاجمالى والأخف بنسبة ٧٥٪ فلابد وأن يكون الوزن الذرى المتوسط :

٢٥ر × ٣٧ + ٧٥ر × ٣٥ = ٣٥ر٥

وهو يساوى تماما ما اكتشفه الكيميائيون السابقون ٠

(٢) مكونة من كلمتين يونانيتين بمعنى مساو و مكان

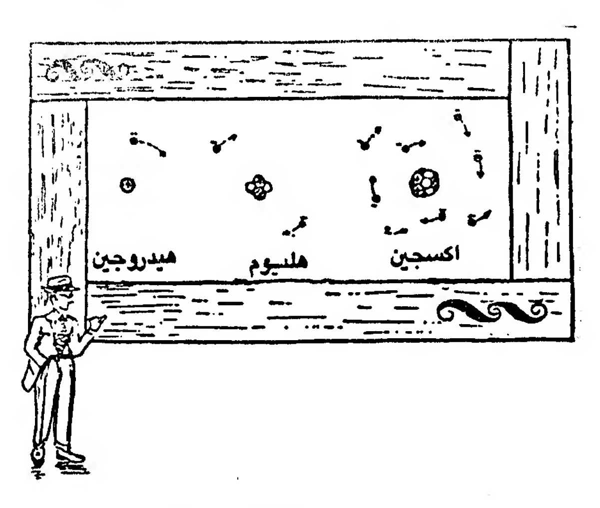
(*) isotopes

الهيدروجين بـ ١٦ مرة · لهذا اذا افترضنا أن ذرة الاكسجين تحتوى على ٨ بروتونات فلابد أن الشحنة صحيحة ولكن الكتلة خاطئة (فكل منهما يساوى ٨) واذا افترضنا وجود ١٦ بروتونا أصبحت لدينا كتلة صحيحة ولكن الشحنة خاطئة (فكل منهما يساوى ١٦) ·

والمخرج الوحيد من هذا المأزق يكمن فى **افتراض أن بعض البروتونات الداخلة فى تركيب أنوية الذرات المعقدة تفقد شحنتها الأصلية الموجبة وتصبح متعادلة كهربيا ·**

ووجود هذه البروتونات غير المشحونة أو « النيوترونات » كما يطلق عليها الآن ، كان فكرة طرحها « رذرفورد » عام ١٩٢٠ ، ولكن الأمر اقتضى مرور اثنى عشر عاما على هذه الفكرة ليتم اثباتها تجريبيا ·

وهنا يجـــدر ملاحظة أن البروتونات والنيوترونات لا يجب النظر اليهما باعتبارهما نوعين مختلفين من الجســـيمات بل حالتين مختلفتين كهربيا لنفس الجسيم المعرف باسم « النوية » ، فالحقيقة أنه من المعروف أن البروتون يمكن أن يتحول الى نيوترون بفقد الشحنة الموجبة كما يمكن للنيوترون أن يتحول الى ألكترون باكتسابه لهذه الشحنة ·



شكل رقم (٥٧)

ان دخول النيوترون كوحدة بنائية فى نواة الذرة يحل المشكلة التى ناقشناها فى الصفحات السابقة · وحتى نفهم كيف تحتوى نواة الاكسجين على ١٦ وحدة كتلة و ٨ وحدات شحنة لابد من التسليم بأنهـــا تتركب من (٨) بروتونات و (٨) نيوترونات · أما نواة اليود ووزنها الذرى (١٢٧) وعددها الذرى (٥٣) فهى تتـــكون من ٥٣ بروتونا ، و ٧٤ نيوترونا بينما

يتكون عنصر اليورانيوم الثقيل (وزن ذرى ٢٣٨ ، وعدد ذرى ٩٢) من ٩٢ بروتونا و ١٤٦ نيوترونا (٣) .

وهكذا بعد قرن تقريبا من ظهـــور فرضية بروت الجريئـــة نالت ما تستحقه من احترام واعتراف ونستطيع الآن القول ان الأنواع المختلفة من العناصر انما نشأت عن صور متباينة من توليفات نوعين وحيـدين من الجسيمات وهما :

١ ـ **النويات** وهى الجسيمات الأولية فى المادة وقد تكون اما متعادلة واما موجبة فى شحنتها .

٢ ـ **الالكترونات** وهى شحنات حرة سالبة كهربيا (شكل ٥٧) اليك اذن وصفات مأخوذة من « المرجع الشامل فى طهى المادة » توضـح كيفية اعـــداد كل طبق فى المطبخ الكونى من ثلاجة معبـــأة بالنويات والألكترونات : الماء : حضر عددا كبيرا من ذرات الاكسجين ويمكن ذلك باستخدام توليفة من ٨ نويات متعادلة و ٨ مشحونة ونواة تحيط بهـا وتحصل عليها باستخدام ٨ ألكترونات . ثم حضر ضعف هذه الكمية من الهيدروجين بتوصيل كل الكترون مفرد بنوية واحدة مشحونة وأضـف الى كل ذرة أكسجين ذرتين من الهيدروجين واخلطهما معا . ثم قدم جزيئات الماء التى تحصل عليها فى كوب مثلج .

ملح المائدة : حضر ذرات الصوديوم بتركيب كل ١١ نوية متعـادلة مع ١١ نوية مشحونة ثم أضف لكل نواة ١١ ألكترونا . ثم جهز عددا مماثلا من ذرات الكلور بخلط كل ١٨ أو ٢٠ نوية متعادلة مع ١٧ نوية مشحونة (نظائر) ثم أضف الى كل نواة ١٧ الكترونا . رتب الصوديوم والكلور فى ترتيب شبيه بقاعدة الشطرنج لتحصـــل على بلورات ملح منتظمة .

ت ن ت (*) : أعد ذرات الـــكربون بمزج كل ٦ نويات متعادلة و ٨ مشحونة بـ ٦ ألكترونات تصاحب النواة . ثم جهز ذرات النيتروجين من ٧ نويات متعادلة و ٧ مشحونة مع استخدام ألكترونات حول النواة . أعد ذرات الاكسجين والهيدروجين وفقا للوصفة السابقة (انظر تحضير

---

(٣) بالنظر الى جدول الأوزان الذرية نلاحظ أنه عند بداية النظام الدورى يتساوى الوزن الذرى مع ضعف الرقم الذرى ، وهذا يعنى أن هذه الأنوية تحتوى على عدد من البروتونات مساو لعدد النيوترونات . أما فى العناصر الأثقل يزداد الوزن الذرى بمعدل أسرع مما يدل على تفوق النيوترونات على البروتونات فى العدد .

(*) ثالث نترات التولوين شديد التفجر .

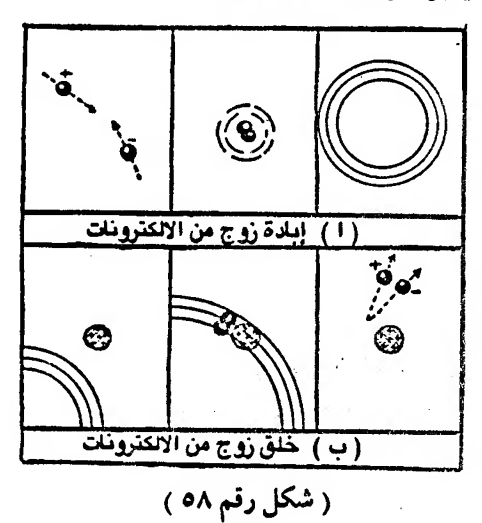
الماء) • رتب ٦ ذرات كربون فى حلقة بحيث تكون هناك ذرة سابعه خارج هذه الحلقة • أضف ثلاثة أزواج من ذرات الاكسجين الى ثلاث من ذرات الكربون فى الحلقـــة بحيث تضـــع فى كل مرة ذرة نيتروجين بين الاكسجين والكربون • أضف ثلاث ذرات هيدروجين الى ذرة الكربون خارج الحلقة وذرتى هيدروجين فى كل من مكانى ذرتى الكربون الخاليين فى الحلقة • رتب الجزيئات التى حصلت عليها فى نموذج منتظم للحصول على عدد كبير من البلورات الصغيرة واضغط هذه البلورات معا • تعامل مع الناتج بحذر حيث ان هذا التركيب غير مستقر وشديد الانفجار •

وعلى الرغم من أن النيوترونات والبروتونات السالبة هى الوحدات الضرورية فقط لبناء أى مادة نريد الحصول عليها كما أوضحنا ، الا أن هذه القائمة من الجسيمات الأولية لا تزال غير مكتملة الى حد ما • والواقع أنه اذا كانت الالكترونات العادية تمثل الشحنات الكهربية السالبة الحرة ، فلم لا يمكن أيضا أن نحصل على شحنات حرة موجبـــة الكهرباء ، أى **الألكترونات الموجبة ؟** •

وأيضا اذا كانت النيوترونات التى من الواضح أنها تمثل الوحدة الأولية للمادة يمكن أن تكتسب شحنة كهربية موجبة ومن ثم تتحول الى بروتون فلم لا نحصل على **نيوترونات سالبة** كذلك ؟ •

والجواب أن الألكترونات الموجبة التى تتشابه تماما مع الالكترونات السالبة العادية ، الا فى العلامة الدالة على شحنتها ، توجد فى الطبيعـة فعلا • كما أن هناك احتمالا معينا لوجود البروتونات السالبة على الرغم من أن الفيزيائيين لم ينجحوا بعد اكتشافها • والسبب فى أن الالكترونات الموجبة والبروتونات السالبة (ان وجدت) غير متوافرة فى عالمنا الطبيعى بقدر توافر الالكترونات السالبة والبروتونات الموجبة يكمن فى أن هاتين المجموعتين من الجسيمات عدوتان لبعضهما البعض اذا جاز التعبير • وكل منا يعرف أن الشحنتين الكهربيتين اذا كانت احداهما موجبة والاخرى سالبة تلغى كل منهما الاخرى اذا وضعناهما معا • اذن حيث ان النوعين من الالكترونات لا يمثلان الا شحنتين حرتين احداهما موجبة والأخرى سالبة ، فلا ينبغى أن نتوقع وجودهما معا فى نفس الحيز من الفضـــاء • والحقيقة أنه ما أن يتقـــابل الكترون موجب مع آخر ســالب حتى تفنى شحناتهما ، ويختفى الجسيمان من الوجـــود • وهذا النوع من عمليـات الابادة المتبـــادلة بين الكترونين يؤدى مع ذلـك الى تولد اشـــعاع الكترومغناطيسى مكثف (أشعة جاما γ) ينطلق من نقطة التقـــابل حاملا معه الطاقة الأصلية للجسيمين المندثرين • ومن القوانين الأولية فى

الطبيعة أن الطاقة لا تفنى ولا تخلق من العدم ، وانما نحن هنا بصدد مشاهدة التحول فى الطاقة الالكتروستاتية للشحنات الكهربية السالبة الى طاقة الكترودينامية ذات موجات مشعة . ويصف البروفيسور « بورن » (٤) الظاهرة الناتجة عن تقابل ألكترون موجب مع آخر سالب ب « الزواج العاصف » أو بتعبير أشد قسوة وصف بروفيسور براون (٥) هذا الحدث ب « الانتحار المتبادل » للالكترونين . وترى فى شكل (٥٨ أ) رسما تخطيطيا يعبر عن هذه المواجهة .



(شكل رقم ٥٨)

ان عملية « الابادة » لألكترونين مشحونين بشحنات مختلفة تجد شبيها لها فى عملية « ازدواج الجسيمات » ، والتى يولد فيها الكترون موجب وآخر سالب ظاهريا من العدم ، نتيجة لاشعاع جاما القوى ونقول ظاهريا من العدم حيث ان هذا الزوج المتولد حديثا من الالكترونات انما يخرج الى حيز الوجود على حساب الطاقة التى توفرها أشعة جاما . والحقيقة أن كمية الطاقة التى يهبها اشعاع جاما لتكون هذا الزوج من الالكترونات يساوى بالضبط الطاقة المتحررة فى عملية الابادة . ونجد فى شكل (٥٨ ب) رسما توضيحيا وعملية ازدواج الجسيمات التى تحدث فى ظروف أفضل عندما يمر الشعاع الساقط بالقرب من نواة (٦) . وهنا لدينا مثال على ظهور شحنتين كهربيتين متضادتين على الرغم من

---

(٤) م. بورن الفيزياء الذرية (جى. اى ستيكرت وشركاه نيويورك ١٩٣٥) .

(٥) ت.ب براون الفيزياء الحديثة (جون ويلى وأبناؤه نيويورك ١٩٤٠) .

(٦) على الرغم من أن تكون زوج من الالكترونات يتم أساسا فى الفضاء الخالى تماما الا أن هذه العملية من ازدواج الجسيمات يساعد عليها وجود المجال الكهربى المحيط بالنواة .

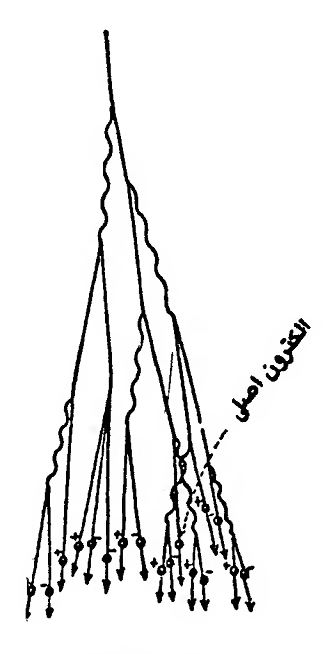
عدم وجود شحنة قبل ذلك اطلاقا وهى رغم ذلك عملية لا يجب أن تثير فينا الدهشة أكثر من التجارب المعملية المألوفة التى يحدث فيها تولد شحنات كهربية موجبة عن طريق دلك عصا الأبنوس بقطعة من الصوف فتتولد شحنة فى كليهما وبتوفر كمية كافية من الطاقة نستطيع أن ننتج أكبر عدد نريده من الشحنات السالبة والموجبة ، مع الاعتراف تماما بأن عملية الابادة المتبادلة سرعان ما تقضى عليها ثانية بحيث ترد كمية الطاقة المرسلة أصلا « بالكامل » ·

ومن الأمثلة المشوقة على انتاج أزواج الالكترونات بالجملة ظاهرة « رذاذ الأشعة الكونية » التى تحدث فى الأجواء الأرضية فى صورة تيارات من جسيمات عالية الطاقة تأتى الينا من الفضاء الكونى ، وعلى الرغم من أن مصدر هذه التيارات المتقاطعة فى جميع اتجاهات الفراغ الكونى الشاسع لا يزال من الألغاز العلمية المستعصية (٧) الا أن لدينا فكرة واضحة الى حد ما عما يحدث عند اصطدام الالكترونات بسرعة مذهلة بالطبقات العليا للغلاف الجوى : فعند مرور هذه الالكترونات الأولية السريعة بالقرب من أنوية ذرات الغلاف الجوى تفقد شحنتها الأصلية تدريجيا وتتحول تلك الطاقة المفقودة الى أشعة جاما التى تنبعث بامتداد مسار الالكترونات (شكل ٥٩) · وتكون هذه الأشعة سببا فى بدء عمليات تكوين أزواج متعددة من الامكترونات السالبة والموجبة فى تسلك نفس طريق الجسيمات (الالكترونات) الأصلية · ولما كانت طاقة هذه الالكترونات الثانوية لا تزال عالية جدا فان اشعاع جاما يستمر فى الخروج مما يخلق أزواجا جديدة من الالكترونات · وهكذا يستمر تكاثرها بتكرار العملية طوال الطريق عبر الغلاف الجوى حتى تصل الالكترونات الأصلية الى مستوى سطح البحر مصحوبة بشلال من الالكترونات الثانوية نصفه موجب ونصفه سالب · ومن البدهى أن هذه الرخات الكونية يمكن أن تحدث عند اختراق الالكترونات السريعة

(٧) والتفسير العادى ، والذى ربما كان أكثرها قبولا ، لأصل هذه الجسيمات عالية الطاقة التى تتحرك بسرعات تصل الى ٩٩٫٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩ فى المائة من سرعة الضوء انما يكمن فى الافتراض بان هذه السرعة ترجع الى فروق الجهد الكهربى العالية جدا بين السحب الترابية والغازية العملاقة (الغيوم السديمية) التى تسبح فى الفضاء الكونى · والحقيقة أن المرء يمكنه أن يتوقع أن هذه السحب الكونية ستتراكم فيها الشحنات الكهربية بشكل مشابه للسحب الراعدة فى هوائنا الجوى ، وأن فروق الجهد الكهربى التى تنشأ عن ذلك سوف تكون أعلى بكثير من تلك المسئولة عن ظاهرة البرق الذى يبرق بين السحب أثناء الزوابع الرعدية ·

للأجسام المادية الضخمة فى سيرها فيحدث التضاعف بمعدل أعلى بكثير نتيجة ارتفاع الكثافة ·

والآن سنبحث فى امكانية وجود البروتونات السالبة ، وينبغى أن نتوقع أن هذا النوع من الجسيمات قد ينشأ نتيجة اكتساب النيوترون لشحنة سالبة أو فقده لشحنة موجبة والأمر لا يختلف · ومن السهل أن نفهم أن البروتونات السالبة تماثل الالكترونات الموجبة فى عجزها عن التواجد لمدة طويلة جدا فى أى مادة عادية ، فهى ستنجذب فى الحال الى أقرب نواة ذرية مشحونة تستوعبها وستتحول الى نيوترونات بعد اختراق البناء النووى · اذن لو وجدت هذه البروتونات فى الواقع – وهذا أمر يساعدنا على استكمال الجدول الحالى من الجسيمات الأولية – فسوف يكون اكتشافها من أصعب الأمور ·



(شكل رقم ٥٩)

مصدر رذاذ الأشعة الكونية

ان اكتشاف الالكترونات الموجبة لم يتم الا بعد مرور نصف قرن تقريبا من معرفة العلم بالالكترونات السالبة · واذا افترضنا وجود هذه البروتونات السالبة ، فلنا أن نتصور وجود الذرات والجزيئات المعكوسة اذا جاز التعبير · فالذرات عبارة عن نيوترونات عادية وبروتونات سالبة

فلابد اذن أن تكون محاطة بأغلفة من **الألكترونات الموجبة** وسوف يكون لهذه الذرات « المقلوبة » نفس خواص الذرات العادية ، ولن تجد اختلافا بين الماء المعكوس والماء العادى والزبد المعكوس والزبد العادى ٠

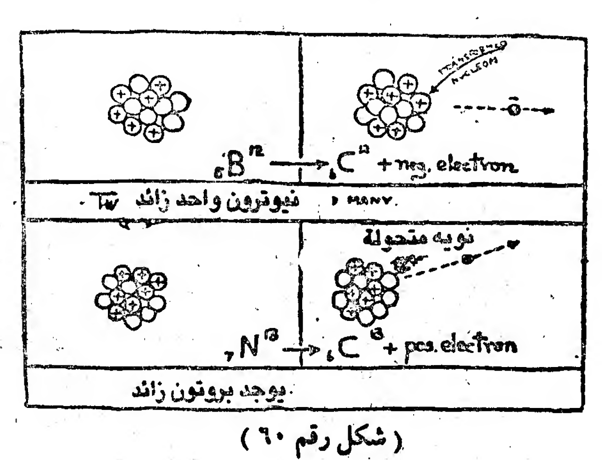
ولن تشعر بالفرق الا اذا وضعت مادة عادية بجانب مادة معكوسة ، فما أن تفعل ذلك حتى تحدث عمليات الابادة المتبادلة بين الالكترونات المتضادة الشحنة ، والأنوية الموجبة والسالبة قبل أن يرتد اليك طرفك وسينفجر الخليط انفجارا أعنف من القنبلة الذرية ٠ وقصارى ما نعرف أنه قد توجد أنظمة نجمية غير نظامنا تتكون من هذه المواد المقلوبة ، واذا صح ذلك فان سقوط صخرة من نظامنا على نظام كهذا أو العكس سيؤدى بمجرد ارتطامها الى انفجار ذرى رهيب ٠

ونتوقف الآن عن هذه التأملات القريبة الى الخيال فى الذرة المقلوبة ونتجه الى دراسة نوع آخر من الجسيمات الأولية قد لا تقل عن تلك غرابة ، وهى تشارك فعلا فى كثير من العمليات الفيزيائية ، ويطلق عليها اسم نويترينـو neutrino ٠ وهذه الجسيمات دخلت الى علم الفيزياء من الباب الخلفى وأصبحت الآن تحتل منزلة كبيرة (ثابتـة) فى عائلة الجسيمات الأولية رغم أنف المعارضة الغوغائية التى شككت فى امكانية وجودها ٠ وتعتبر قصة اكتشافها والتعرف على خواصها من أغرب قصص الاثارة البوليسية فى علوم عصرنا ٠

وقد اكتشفت وجود النويترينو بطريقة يسميها الرياضيون « نقض النقيض » (*) فقد بدأ هذا الاكتشاف المثير ليس بناء على وجود شىء ما ، ولكن بالأحرى اكتشـاف عدم وجوده ، وكانت الطـاقة هى ذلك الشىء المفقود ٠ ولما كانت الطاقة وفقا لأحد أقدم وأرسخ قوانين الفيزياء لا تفنى ولا تخلق من العدم ٠ وباكتشاف أن الطاقة التى كان يجب وجودها غائبة فقد دل على ذلك حتمية وجود لص ما أو عصابة من اللصوص استولت على هذه الطاقة ٠ ولما كانت العقلية البوليسية العلمية مرتبة وتميل الى وضع أسماء للأشياء حتى ما لا نستطيع أن نراه منها فقد أطلقـوا على لصوص الطاقة « النويترينات » ولكن هذه مرحلة متقدمة من القصـة فبالرجوع الى وقائع « قضية سرقة الطاقة » نجد كما رأينا من قبل أن أنوية الذرات تتكون من نويات نصـفها تقريبا متعـادل الشـحنة « النيوترونات » والباقى منها شحنة موجبة ، فاذا اختل التوازن بين العدد

(★) برهنة القضية باثبات فساد نقيضها ٠

النسبى للنيـوترونات والبروتونات فى نواة الذرة باضـافة نيوترون أو بروتون جديد أو أكثر (٨) ، فلابد من حدوث تعديل كهربى • فاذا كان عدد النيوترونات أكبر من اللازم تحول بعضها الى بروتونات بطرد ألكترون سالب • واذا كان عدد البروتونات أكبر تحـول بعضها الى نيوترونات بطرد ألكترون موجب • وتجد فى شكل (٦٠) رسما يوضح هذه العملية ، وتعرف باسم « انحلال بيتا » • أما الالكترونات المطرودة فتعرف باسم جسيمات بيتا (B) •



(شكل رقم ٦٠)

نظام انحلال بيتا الموجب والسالب (لسهولة العرض قمنا برسم جميع النويات فى مستوى واحد) •

ولما كان التحول الداخلى فى النواة عملية دقيقة ومحددة للغاية بحيث تكون الطاقة الناتجة عنها محملة على الالكترون المطرود فطبيعى أن نتوقع خروج ألكترونات أو جسيمات B من أى مادة بنفس السرعة • ولكن الملاحظات التى تمت على عملية انحـلال بيتا تتعارض تماما مع هـذا التوقع • فقد وجد أن الالكترونات المنطلقة من مادة ما تتراوح طاقتهـا الحركية من الصفر الى حد أقصى معين • ولم يكتشـفوا أى جسيمات أو اشعاع آخر يكون مسئولا عن هذا الاختلاف فى الطاقة ، فأصبحت عملية انحلال بيتا هامة للغاية • فاعتقدوا لفترة معينة أن هذا أول دليل تجريبى على فشل قانون « ثبات الطاقة » الشهير ، وهو ما يعنى كارثة تنزل بالبناء المحكم للنظرية الفيزيائية • وبقى احتمال أو امكانية أخيرة فربما كانت الطاقة المفقودة قد امتصها نوع جديد من الجسيمات وأنها تفلت دون أن

(٨) ويمكن القيام بذلك عن طريق القذف النووى الذى تجده فيما بعـد فى نفس الفصل •

نقدر على رصدها بأى وسيلة من وسائل الرصد أو الملاحظة . وفكر « باولى » فى أن « أرسين لوبين » الطاقة هو جسيمات مفترضة هى **النويترينات** ، وهى غير مشحونة ولا تزيد كتلتها على كتلة الالكترون العادى . والواقع أنه من المعروف يقينا بالنسبة للتفاعل بين الجسيمات السريعة والمادة أى الجسيمات غير المشحونة والخفيفة لا يمكن الاستدلال على وجودها بأى جهاز فيزيائى معروف ، وانها قد تخترق دون أى صعوبة طبقات سميكة جدا من المادة . لذا ففى حين أن الضوء المرئى يمكن حجبه تماما باستخدام شريحة معدنية رقيقة جدا ، وكذا تحتاج أشعة أكس العالية النفاذية وأشعة جاما أيضا الى طبقة من الرصاص بسمك عدة بوصات للحد من كثافتها الى درجة كبيرة نجد أن حزمة من النويترينات يمكنها المرور دون صعوبة كبيرة من طبقة رصاص يبلغ سمكها عدة ملايين من السنين الضوئية !! فلا عجب اذن أنها تفلت من أى ملاحظة ولا يستدل عليها الا من نقص الطاقة الناتج من هروبها .

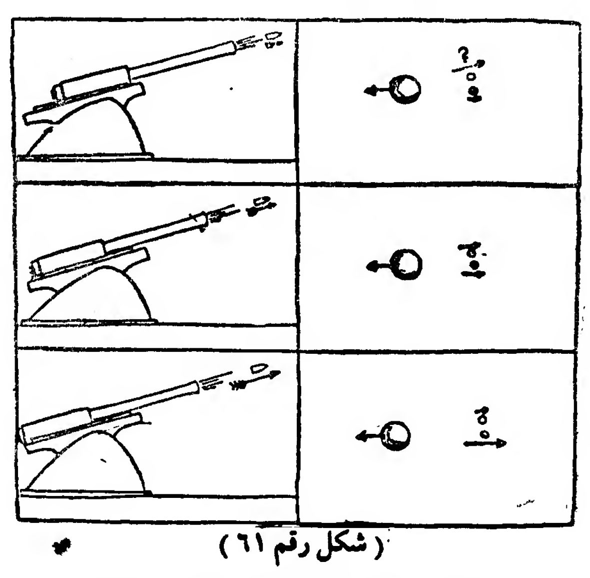
ولكن على الرغم من استحالة الامساك بهذه النويترينات طالما أنها قد غادرت النواة ، الا أن هناك وسيلة لدراسة الآثار الثانوية المترتبة على مغادرتها . فعندما تطلق بندقية فانها تحدث رد فعل على كتفك ، ويتراجع المدفع على حامله بعد اطلاقه لقذيفة ثقيلة . وينتظر حدوث نفس أثر الارتداد الميكانيكى من النواة الذرية التى تنطلق منها الجسيمات السريعة ، والواقع أنه لوحظ أن النواة التى تتعرض لانحلال بيتا تكتسب دائما سرعة فى اتجاه مضاد لحركة الالكترون المنطلق . وتكمن غرابة الارتداد النووى فى أن سرعة الالكترون لا تؤثر على سرعة ارتداد النواة اذ تظل ثابتة فى كل الحالات (شكل ٦١) ويبدو هذا غريبا جدا اذ أنه من الطبيعى أن نتوقع أن المقذوف السريع يحدث رد فعل أقوى على الكتف من المقذوف البطىء . ويكمن حل هذا اللغز فى أن النواة تطلق دائما مع الالكترونات نيويترينات تحمل ما تبقى من الطاقة التى يستهلكها الالكترون فاذا خرج الالكترون بسرعة عالية مستهلكا أغلب الطاقة المتاحة ، انطلقت نويترينات بسرعة بطيئة والعكس بالعكس . لذا فان الارتداد الملاحظ يكون ثابتا دائما نتيجة للأثر المزدوج لكلا الجسيمين . وكفى بهذا دليلا على وجود النويترين ! .

والآن بمقدورنا أن نجمل نتائج المناقشة السابقة ونقدم قائمة كاملة للجسيمات الأولية التى تدخل فى بنية الكون ، والعلاقة القائمة بينها .

ولنبدأ أولا بالنوية : التى تعتبر الجسيم الأول للمادة . وهى بقدر معرفتنا حتى الآن متعادلة أو موجبة الشحنة مع احتمال أن تكون هناك نويات سالبة الشحنة .

ثم نأتى للألكترونات : وهى الشحنات الحرة الســالبة أو الموجبة كهربيا • وهناك أيضا هذه النويترينات الغامضة التى لا تحمل أى شحنة ويفترض أنها أخف وزنا من الالكترونات بكثير (٩) •

وفى النهاية توجد الموجات الكهرومغناطيسية المسئولة عن انتشــار القوى الكهربية والمغناطيسية فى الفضاء الخالى •



(شكل رقم ٦١)

مشكلة الارتداد فى المدفعية والفيزياء النووية •

وجميع هذه المكونات الرئيسية فى العالم الطبيعى مســتقلة عن بعضها ويمكن أن تجتمع معا فى صور مختلفة • ولذا يمكن للنيوترون أن يتحول الى بروتون بطــرد الكترون ســالب ونويترين (نيوترون ← بروتون + الكترون سالب + نويترينو) ، ويمكن للبروتون أن يعود نيوترونا بطرد ألكترون موجب ونويترين (بروتون ← نيوترون + الكترون موجب + نويترينو) • ويمكن تحول ألكترونين متضادين فى الشحنة الى اشــــعاع كهرو مغناطيسى • (الكترون موجب + الكترون سالب ← اشعاع) أو بالعكس يمكن أن ينتج الالكترونان عن الاشعاع (اشعاع ← الكترون موجب + الكترون سالب) • وأخيرا يمكن للنويترينات أن تتحد مع الالكترونات مكونة وحدات ثابتة يمكن ملاحظتها فى الأشعة الكونيــة المعروفة **بالميزون** أو التى تسمى خطأ ب «الالكترون الثقيل» (نويترينو +

---

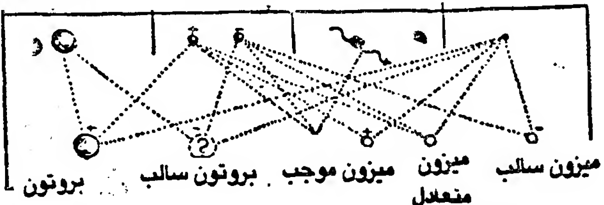
(٩) وتشير آخر الأدلة التجريبية فى هذا المجال الى أن النويترين لا يزيد وزنه على $\frac{١}{١٠}$ من ثقل الالكترون •

الكترون موجب ← ميزون موجب ، أو : نيوترون + الكترون سالب ← ميزون سالب أو نويترين + الكترون موجب + الكترون سالب ← ميزون متعادل) واتحاد النويترينات والالكترونات يحمل طاقة هائلة بحيث يكون أثقل بمائة مرة من كتلتهما معا أصلا ٠

وفى شكل (٦٢) ترى بيانا مرسوما للجسيمات الأولية المشتركة فى بنية الكون ٠

اشـعاع

النويترينو الغامض (كم الجاذبية)	اشعاع الكترومغناطيسى (كم الاشعاع)	شحنات كهربائية حرة (الكترونات)	الجسيم الأساسى للمادة (نيوترون)



(شكل رقم ٦٢)

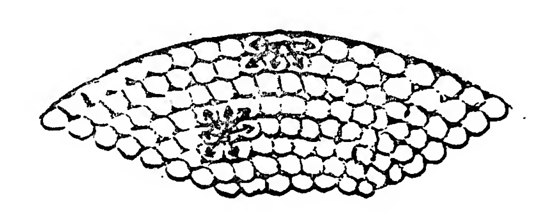
بيان بالجسيمات الأولية فى الفيزياء الحديثة وتوليفاتها ٠

وربما تسأل هل هذه هى النهاية ؟ فبأى حق نفترض أن النويات والالكترونات والنويترينات هى حقا جسيمات أولية لا يمكن تقسيمها الى وحدات أصغر ؟ ألم يفترض منذ قرن واحد فقط أن الذرة لا تنقسم ؟ ومع ذلك فما أعقد صورة الذرة الآن ! والجواب أنه رغم عدم امكانية التنبؤ بما قد يطرأ من تطور على العلم بطبيعة الحال ، الا أن لدينا الآن أسبابا أقوى تدفعنا الى الاعتقاد بأن جسيماتنا الأولية هى بالفعل الوحدات الأولية ولا يمكن أن تنقسم أكثر من ذلك ٠ فالذرة التى زعم العلماء فى الماضى أنها غير قابلة للانقسام كان معروفا عنها نسب هؤلاء العلماء لها خواصا متعددة كيميائية وبصرية فى حين أن خواص الجسيمات الأولية فى الفيزياء الحديثة بسيطة للغاية والحق أنها تشبه فى بساطتها النقاط الهندسية ٠ وبدلا من العدد الكبير « للذرات غير القابلة للانقسام » فى الفيزياء القديمة لدينا ثلاثة مكونات مختلفة جوهريا : النويات ، والالكترونات والنويترينات ، ومهما كان الجهد والرغبة الملحة فى تحويل كل شىء الى ما هو أبسط منه فانك لا تستطيع أن تحول شيئا الى لا شىء . ولذا يبدو أننا قد اصطدمنا بالقاع فى بحثنا عن الوحدات الأولية للمادة .

٢ ـ قلب الذرة :

والآن بعد أن تعرفنا تماما على طبيعة الجسيمات الأولية وخواصها ، ولا سيما تلك التى تدخل فى بنية الذرة ، نستطيع الانتقال الى دراسة أكثر تفصيلا للنواة وهى قلب الذرة • وفى حين أن البناء الخارجى للذرة يمكن تشبيهه الى حد ما بالنظام الكوكبى الدقيق ، فان نواة الذرة تختلف تماما عن هذه الصورة • وواضح قبل أى شىء أن القوى التى تحفظ الذرة تماسكها ليست ذات طبيعة كهربية بحتة اذ أن النيوترونات لا تحمل أى شحنة كهربية ، والنصف الآخر وهو البروتونات موجب الشحنة يتنافر مع بعضه • ولن تجد مجموعة أخرى من الجسيمات المتماسكة كل ما يجمعها هو التنافر ! •

ولذا حتى نفهم السبب فى اتحاد مكونات النواة مع بعضها ينبغى علينا أن نفترض أنه من بين القوى الموجودة هناك قوى أخرى جاذبة تعمل فى النويات غير المشحونة كما تعمل فى النويات المشحونة • ومثل هذه القوى التى تعمل على بقاء الجسيمات مع بعضها بغض النظر عن طبيعتها يطلق عليها « قوى التماسك » ، وتوجد على سبيل المثال فى السوائل العادية حيث تمنع الجزيئات المنفصلة من الانتشار فى جميع الاتجاهات • وتوجد فى نواة الذرة قوى شبيهة بالقوى السابقة وتعمل بين النويات المنفصلة لتمنع النواة من التفسخ تحت تأثير التنافر الكهربى بين البروتونات • وهكذا فعلى النقيض من الجسم الخارجى للذرة حيث يكون بين الالكترونات المكونة للأغلفة الذرية العديدة مساحة فضائية كبيرة تتحرك فيها ، نجد أن النواة هى أشبه بعلبة تحتشد فيها كميات كبيرة من النويات كما فى علبة السردين • وكما أشرنا من قبل يمكننا أن نفترض أن مادة نواة الذرة تشبه السوائل العادية فى الخطوط العريضة للتركيب وكما نجد ظاهرة التوتر السطحى فى حالة السوائل العادية نجدها أيضا فى النواة •



(شكل رقم ٦٣)

ايضاح لظاهرة قوى الشد السطحى فى السوائل

وربما نذكر أن السبب فى التوتر السطحى للسوائل يعود الى أن الجسيمات بداخلها تتنازعهـــا قوى الجذب فى جميع الاتجاهات بنفس القدر ٠

أما الجسيمات السطحية فتجذبهـــا تلك القـــوى الى الداخل (شكل ٦٣) ، ويؤدى هذا الى ميل أى قطرة سائل لا تخضع لقوى خارجية الى اكتساب شكل كروى اذ أن الكرة هى الشـــكل الهنـدسى الذى يمتلك أقل مساحة سطح ممكنة لأى حجم (*) ٠ وهكذا نجد أنفســنا منساقين الى استنتاج أن نواة الذرة للعنـــاصر المختلفة يمكن اعتبارها ببساطة قطرات مختلفة الحجم فى « سائل نووى » كونى ٠ ويجب ألا ننسى مع ذلك أن السائل النووى على الرغم من أنه يشبه السائل العادى نوعيا الا أنه يختلف عنه فى الخواص والواقع أن كثافته تزيد على كثافة الماء بمعامل قدره ٤ر٢ × ١٠^١٤ وتزيد قوى التوتر السطحى فيه عنها فى الماء بحوالى ١٠^١٨ مرة ٠ وحتى يتسنى لنا فهم هذا الرقم الهائل دعونا ندرس المثال التالى ٠ وافترض أن لدينا اطارا من السلك يشـــبه حرف *U* مقلوبا كما فى شكل ٦٤ وتتقاطع مع الحرف قطعة مستقيمة من السلك وطبقة من الصابون تغطى الشكل الرباعى الناشىء ٠ وسوف تعمل قوى التوتر السطحى للصابون على جذب الساق المعـدنية لأعلى ويمكن معادلة هذه القوى بتعليق ثقـل خفيف على الساق المعـدنية فان كانت الطبقـة مكونة من ماء عاد مذاب فيه قدر من الصابون وذات سمك يبلغ حوالى ٠١ر مم ، سيكون وزنها حوالى ١/٤ جم وسوف تحمل وزنا اجماليا قدره حوالى ٣/٤ جم ٠

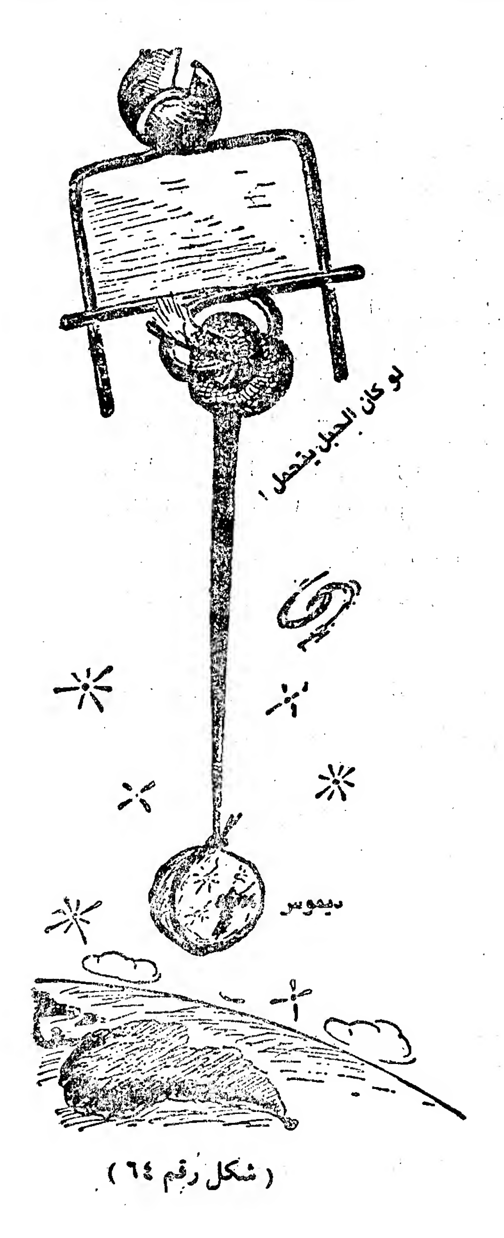
والآن اذا أمكن الحصول على طبقة مماثلة من السائل النووى سيكون اجمالى وزن هذه الطبقة ٥٠ مليون طن (وزن ألف عابرة محيطات تقريبا) ويمكننا أن نعلق على السلك المستعرض حمولة تزن سنتليون (١٠^١٢) طن ، وهذه تعادل تقريبا كتلة « ديموس » ثانى أقمـــار كوكب المريخ ! والمرء يحتاج الى رئتين جبارتين لكى يصنع بالنفخ فقاعتين من الســـائل النووى ! ٠

واذا اعتبرنا نواة الذرة مكونة من قطرات صغيرة من السائل النووى فلا يجب أن نهمل حقيقة هامة وهى أن هذه القطيرات مشـــحونة كهربيا حيث ان حوالى نصف جسيمات النواة من البروتونات ٠ وتعـــادل قوى التوتر السطحى التى تعمل على تماسك النواة كجزء واحد قـوى التنافر

(★) اى أن المكعب أو المنشور أو غيرها تكون مساحة سطوحها دائما أكبر من مساحة سطح كرة من نفس الحجم (المترجم) ٠

الكهربى التى تعمل بين مكوناتها وتحاول تمزيقها الى جزأين أو أكثر .
وهنا يكمن السبب الرئيسى فى عدم استقرار نواة الذرة فاذا سيطرت قوى التوتر السطحى عليها فانها لا تنحل تلقائيا أبدا ، بل وتميل النواتان المقربتان من بعضهما الى **الاندماج** كما يحدث تماما لقطيرتين عاديتين .

وعلى العكس ، اذا كانت اليد العليا فى النواة لقوى التنافر الكهربى



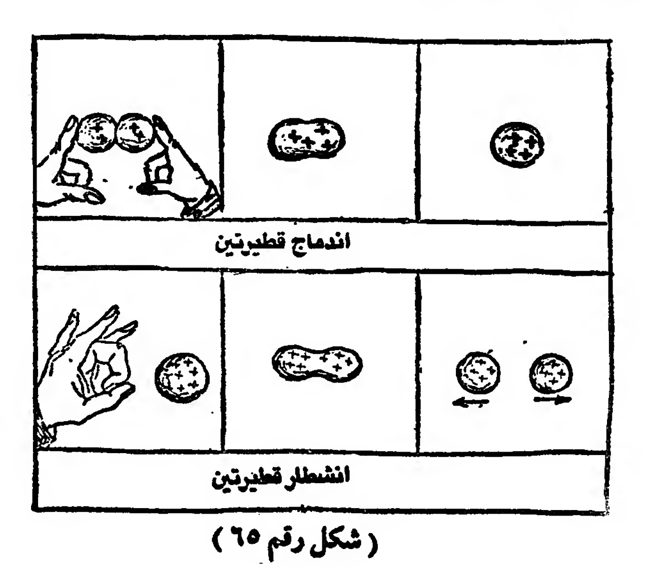
(شكل رقم ٦٤)

أظهرت هذه النواة ميلا الى الانقسام تلقائيا الى جزأين أو أكثر وتطير هذه الأجزاء بعيدا عن بعضها بسرعة عالية ، ويطلق على هذه العملية عادة مصطلح « الانشطار النووى » ٠

وقد أجرى « بوهر » و « هويلر » فى عام ١٩٣٩ حسابات دقيقة للتوازن بين القوى الكهربية وقوى التوتر السطحى فى عناصر مختلفة وأدى ذلك الى نتيجة بالغة الأهمية وهى :

ان قوى التوتر السطحى فى النواة تكون لها اليد العليا فى النصف الأول من الجدول الدورى (حتى عنصر الفضة تقريبا) ، ثم تسود قوى التنافر الكهربى على كل الأنوية الأثقل من ذلك ٠ وبالتالى تكون نواة أى عنصر أثقل من الفضة غير مستقرة أساسا وهى تنقسم الى جزأين أو أكثر تحت تأثير قوى خارجية كافية ، فيؤدى ذلك الى تحرر كمية كبيرة من الطاقة الداخلية للنواة (شكل ٦٥ أ) ٠ وعلى النقيض من ذلك لابد وأن نتوقع حدوث عملية اندماج بين نواتين خفيفتين (أقل من عنصر الفضة عندما تقتربان من بعضهما (شكل ٦٥ ب) ٠

ومع ذلك يجب أن نتذكر أن الاندماج بين نواتين خفيفتين أو انشطار الأنوية الثقيلة لا يحدث بالطبيعة مالم نفعل شيئا يساعد على ذلك ٠ والواقع أن حدوث الاندماج يستلزم تقريب النواتين من بعضهما ضد قوى التنافر بين شحنتيهما ، وحتى يحدث الانشطار النووى فى نواة عنصر ثقيل لابد من أن يبدأ ذلك باحداث ذبذبة سعتها كبيرة جدا عن طريق توجيه ضربة قوية الى النواة ٠



(شكل رقم ٦٥)

وهذا النوع من الحالات التى لا تبدأ فيها عمليـــة ما الا تحت وطأة استثارة مبدئية تعرف فى العلوم ب « حالات الاستقرار المتغير » · ويمكن ايضاحه بأمثلة مثل الصخرة الموجودة على حافة هاوية أو علبـــة الثقاب الموضوعة في جيبك ، أو شحنة تى.ان.تى. في قنبلة ، وفي كل حالة هناك كمية كبيرة من الطاقة تنتظر أن تتحرر · ولكن الصخرة لن تنحدر الا اذا دفعت من الخلف ، والثقاب لن يشتعل الا اذا أدى احتكاكه مع جسمك الى رفع درجة حرارته ، كما أن مادة تى· ان· تى لن تنفجر الا بتوصيلها بفتيل · واذا كنا نعيش فى عالم كل شىء فيه عمليـا قابل للانفجـــار النووى ـ باستثناء العملات الفضية (١٠) ـ فان ذلك يرجع الى الصعوبة الشديدة لبدء عملية التفاعل النووى ، أو بعبـارة علميـــة أكثر دقة « الطاقات التنشيطية الرهيبة التى تتطلبها التحولات النووية » ·

ونحن بالنسبة للطاقة النووية نعيش (أو قل عشنا حتى عهد قريب) فى عالم شبيه بعالم رجل الاسكيمو الذى يسكن أرضـا درجة حرارتها أقل من درجة التجمد ، فهو لا يعرف صلبا الا الثلج ولا سائلا الا الكحول. فمثل هذا الاسكيمو لم يسمع أبدا عن النار فهو لن يحصل على نار أبدا بدلك قطعتين من الثلج معا ، كما أن الكحول بالنسبة له ليس الا مشروبا لطيفا ، فهو لن يستطيع أن يرفع حرارته الى درجة الاشتعال ·

وما أشبه الحيرة العظيمة التى انتابت الانسان عندما اكتشف عملية تحرر الطاقة الكامنة داخل الذرة على نطاق كبير ، بدهشة صاحبنا رجل الاسكيمو عندما شاهد أول موقد كحولى ·

وما أن يتم التغلب على مشكلة بدء التفاعل النـــووى حتى تعوض النتائج كل المتاعب التى تضمنها ذلك · ولنأخذ خليطا من كميات متساوية من ذرات الاكسجين والكربون مثلا ، بحيث يكونان متحدين وفقا للمعادلة الآتية :

$$O + C \longrightarrow Co + \text{Energy} \quad (\text{طـاقة})$$

وسوف تعطينا هذه العناصر ٩٢٠ سعرا(١١) لكل جرام من الخليط وبدلا من الاتحاد الكيميائى العادى (اندماج الجزيئات) (شكل ٦٦ أ)

(١٠) تذكر أن نواة الفضة لا تنشطر ولا تندمج ·

(١١) السعر هو وحدة حرارية تعرف بأنها الطاقة اللازمة لرفع درجة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة ·

(★) أ + ك ⟵ ك أ + طاقة

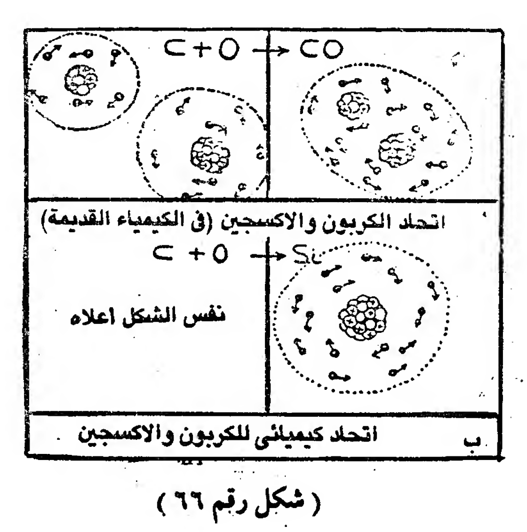
بين هذين النوعين من الذرات ، يحدث اتحاد كيميـــائى جديد (اندماج نووى) بين نواتين (شكل ٦٦ ب) ٠

$$_{6}C^{12} + {}_{8}O^{16} = {}_{14}Si^{28} + \text{الطاقة}$$

فتصبح الطــاقة المتحررة = ١٫٤ × ١٠^٩ سعرا عن كل جرام من الخليط أى ١٥ مليون ضعف للطاقة السابقة ٠

وبالمثل فان تكسير جزىء من مادة تى٠ ان٠ تى المعقدة الى جزيئات ماء ، وأول أكسيد الكربون ، وثانى أكســيد الكربون ، والنيتروجين (انشطار جزيئى) يحرر طاقة مقدارها ١٠٠٠ سعر لكل جرام ، فى حين أن نفس الوزن من الزئبق مثلا يعطى طاقة اجمالية قدرها ١٠^١٠ سعرات فى عملية الانشطار النووى ٠

ولا تنسى أيضا أن أغلب التفاعلات الكيميائية لا تحدث بســهولة الا عند حرارة قد تصل الى عدة مئات أما التحولات النووية فلا يمكن حتى أن تبدأ الا بعد الوصول الى درجات تقدر بالملايين ! ٠ فاطمئن لأن صعوبة بدء التفاعل النووى تضمن عدم وجود خطر مباشر قد يحول الكون كله الى فضة خالصة عقب انفجار مروع ٠



(شكل رقم ٦٦)

٣ ـ تحطيم الذرة :

على الرغم من أن تكامل الأوزان الذرية يعتبر حجة قوية فى صالح تعقد أنوية الذرات ، الا أن البرهان النهـــائى على ذلك لا سبيل اليه الا بالدليل التجريبى المباشر على امكانية انقسام النواة الى جزأين أو أكثر .

وفى أواخر القرن الماضى ظهر أول دليل على امكانية حدوث هـــذا الانحلال فى النواة على يد « بيكربل » عند اكتشافه للنشاط الاشعاعى . فقد اتضح فى الواقع أن هذا الاشعاع عالى النفاذية (شبيه بأشعة اكس العادية) ، ينطلق تلقائيا من ذرات بعض العناصر كاليورانيوم والثوريوم الواقعان فى آخر الجدول الدورى نتيجة للانحلال التلقائى لهذه الذرات . وسرعان ما أدت الدراسة التجريبية الواعية لهذه الظاهرة المكتشفة حديثا الى استنتاج أن انحلال الأنوية الثقيلة يعتمد على انحلالها التلقائى الى جزئين غير متساويين :

١ – جزء صغير يعرف بجسيم ألفا وهو نواة ذرة الهليوم .

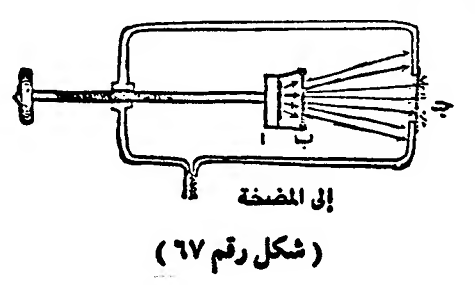
٢ – الجزء الباقى من النواة الأصلية ، وهو بمثابة النواة للعنصر الوليد . وعندما تتحلل ذرة اليورانيوم الأصلية باطلاق جسيمات ألفا ، ثمرة النواة الناتجة للعنصر الوليد يورانيوم (× ١) بعمليات اعادة اتزان كهربى داخليا ، وينطلق منها شـــحنتان حرتان سالبتان (الكترونان عاديان) من ثم نحصل على نواة نظير اليورانيوم وهى أخف بأربع مرات من نواة اليورانيوم الأصلية . ثم تلى هذا الضبط (التعديل) الكهربى سلسلة من انطلاقات جسيمات ألفا ثم عمليات ضـــبط كهربى جديدة وهكذا .. حتى نصل فى النهاية الى نواة ذرة الرصاص التى تبدو مستقرة ولا تميل للانحلال .

ويلاحظ وجود سلسلة مماثلة من عمليات التحول الاشعاعى واطلاق جسيمات ألفا والالكترونات فى عائلتين أخريين من العناصر المشـــعة : وهما عائلة الثوريوم التى تبدأ بالثوريوم الثقيل ، وعائلة الاكتنيوم التى تبدأ بعناصر تعرف باسم الاكتينويورانيوم . وفى هذه العائلات كلهـــا تستمر عمليات الانحلال التلقائى حتى تبقى ثلاثة نظـــائر مختلفة من الرصاص فى النهاية .

وربما يندهش القارىء الذكى عند مقارنة الوصف السابق للنشاط الاشعاعى التلقائى بالمناقشة العامة التى أوردناها فى الجزء السابق حيث قلنا : **ان عدم استقرار أنوية الذرات أمر متوقع فى كل عناصر النصف الثانى من الجدول الدورى** . حيث تكون اليد العليا لقوى الكهرباء المتنافرة التى تتحكم فى قوى التوتر السطحى وهى القوى التى تميل الى المحافظة على تماسك النواة فى وحدة واحدة . فاذا كانت جميع الأنوية الأثقل من الرصاص غير مستقرة فلم لا نلحظ الانحلال التلقائى الا فى القليل من العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم ، والراديوم ، والثوريوم ؟ والجواب هو أن علينا أن نعتبر من الناحية النظرية أن جميع العناصر الأثقل من الرصاص عناصر نشطة اشعاعيا وانها تتحول حقيقة بالانحلال تدريجيا الى عنـــاصر

خفيفة . الا أنه في أغلب الحالات يتم هذا الانحلال التلقائى ببطء شديد حتى أنه لا يمكن ملاحظته . وهكذا نجد فى بعض الذرات المألوفة مثــل اليود والزئبق والرصاص أن الذرة قد تنحل مرة أو مرتين فى عدة قرون وهو معدل بطىء جدا الى درجة استحالة تسجيله ولو باستخدام أشد أجهزة الفيزياء حساسية • ولا يـكون الميـل الى الانحلال شديدا بحيث يمكن ملاحظة النشاط الاشعاعى التلقائى الا فى أثقل العناصر (١٢) • كما أن معدلات التحول النسبية تتحكم فى الأسلوب الذى تنحل به النواة غير المستقرة • لذا فان نواة اليورانيوم على سبيل المثال يمكن أن تنحل بعدة طرق مختلفة ، فهى قد تنقسم تلقائيا الى جزأين متساويين أو ثلاثة أجزاء متســاوية أو عدة أجزاء مختلفة فى الحجم ، ومع ذلك فان أسهــل طرق انقسامها هو الانقسام الى جسيم ألفا والجزء الثقيل الباقى منها وهذا هو الشكل المعتاد حدوثه • وقد لوحظ أن انحلال نواة ذرة اليورانيوم تلقائيا الى نصفين يحدث بمعدل أقل مليون مرة من الانحلال الى جسيم ألفا والجزء المتبقى من النواة • وهكذا بينما تنحل عشرة آلاف نواة من جرام يورانيوم واحد فى كل ثانية باطلاق كل منها لجسيم ألفا ، علينا أن ننتظر عدة دقائق لكى نرى عملية انحـــلال تلقائى تنقسم فيهـــا نواة الذرة الى نصفين متساويين ! •

وقد قضت ظاهرة النشاط الاشعاعى على أى شك فيما يختص بتعقد البناء النووى ومهدت الطريق امام تجارب التحولات النووية الاصطناعية بالحث (أو التنشيط) • ثم ظهر تساؤل جديد وهو : اذا كانت نواة العناصر الثقيلة ولا سيما غير المستقر منها تنحل من تلقاء نفسها ألا يمكن لنا أن نحدث انقساما فى أنوية العناصر المستقرة الأخرى بضربها بمقذوف نووى سريع بقوة كافية ؟ •



(شكل رقم ٦٧)

كيف امكن احداث اول انقسام فى الذرة •

وأخذا بهذه الفكرة قرر « رذرفود » اخضاع أنوية عناصر مستقرة عادية لقذف كثيف بأجزاء نووية (جسيمات ألفا) الناتجـة عن الانحلال

---

(١٢) فى اليورانيوم مثلا يكون الانحلال بمعدل آلاف الذرات فى الثانية لكل جرام •

الثانى لانوية بعض العناصر النشطة اشعاعيا فاستخدم فى تجربته الاولى للتحول النووى عام ١٩١٩ جهازا تراه فى شكل (٦٧) وهو فى غاية البساطة بالنسبة للجهاز العملاق المستخدم فى تحطيم الذرة فى المعامل الفيزيائية حاليا . ويتكون الجهاز من وعاء اسطوانى مفرغ به نافذة دقيقة مصنوعة من الفلورسنت (ج) وتعمل كشاشة ، أما مصدر القذائف (ألفا) فكان طبقة رقيقة من مادة نشطة اشعاعيا مترسبة على الصفيحة المعدنية (أ) وأما العنصر المقذوف وقد كان الألومنيوم فى هذه التجربة فكان عبارة عن الفتيلة الدقيقة (ب) الموضوعة على مسافة معينة من مصدر القذف . ووضعت هذه الفتيلة ، بحيث تستقر كل جسيمات ألفا الساقطة عليها فيها بمجرد وصولها .

وبذلك يستحيل أن تضىء الشاشة وستظل مظلمة مالم تقع تحت تأثير شظايا نووية تنبعث من المادة المستهدفة نتيجة القذف .

وبعد تركيب الجهاز نظر « رذرفورد » الى الشاشة من وراء الميكروسكوب ، فرأى شيئا لا يحتمل اللبس أو الخطأ مهما كانت الظلمة ، اذ توهجت الشاشة بعشرات الآلاف من الشرر اللامع على سطحها بأكمله هنا وهناك ! ولم يكن هذا الشرر الا تأثير البروتونات على مادة الشاشة ، وكان كل بروتون بمثابة « شظية » انطلقت من ذرة ألومنيوم فى مادة الهدف نتيجة سقوط ألفا عليه . وهكذا أصبحت امكانية حدوث تحول نووى اصطناعى حقيقة علمية راسخة بعد أن كانت نظرية (١٣) .

وعلى مر العقود التى تلت تجربة « رذرفورد » الكلاسيكية أصبح علم التحول الاصطناعى للعناصر من أكبر وأهم أفرع الفيزياء وحدث تطور هائل فى وسائل اطلاق القذائف السريعة بهدف القذف النووى وكذا وسائل مشاهدة النتائج التى يتحصلون عليها .

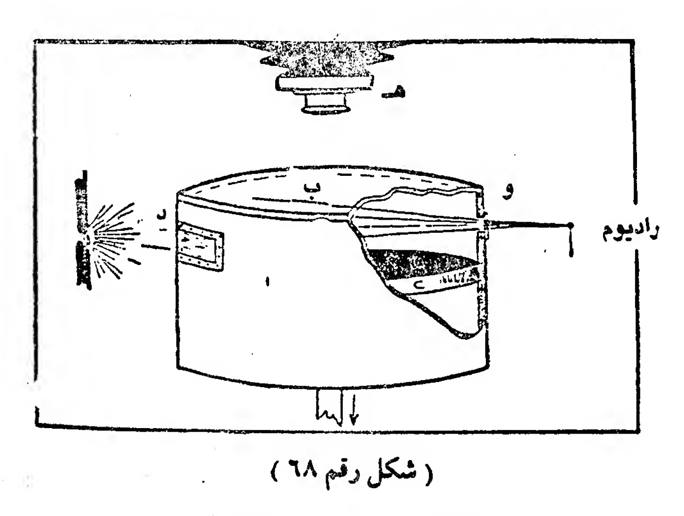
ويعرف الجهاز الذى يسمح لنا بأكبر قدر من المشاهدة بالعين لما يحدث عند اصطدام قذيفة نووية بالنواة بالغرفة الغيمية (أو غرفة « ويلسون » بعد اختراعها) . وترى فى شكل (٦٨) رسما ايضاحيا لها . ويعتمد تشغيلها على أن الجسيمات السريعة المشحونة كجسيمات ألفا ، تؤدى وهى فى طريقها فى الهواء أو أى غاز آخر الى نوع من التشويه فى الذرات التى تعترض سبيلها . فتنزع القذائف بفعل مجالاتها الكهربية القوية ألكترونا أو أكثر من ذرات الغاز التى تصادفها فى الطريق تاركة وراءها عددا من

---

(١٣) يمكن التعبير عن هذه العملية بالصيغة :

$$_{13}Al^{27} + {_2He^4} \longrightarrow {_{14}Si^{30}} + {_1H^1}$$

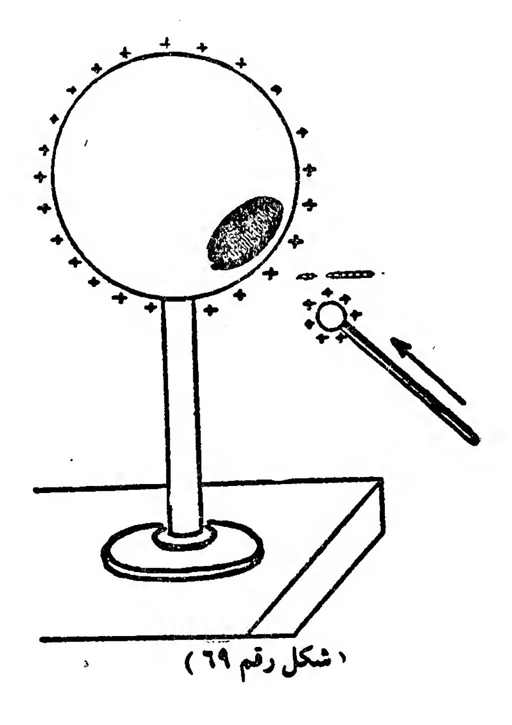
الذرات المتأينة • ولا تستمر هذه الحالة لفترة طويلة اذ أنه بعد مرور القذائف سرعان ما تسترد هذه الذرات المتأينة ألكتروناتها وتعود الى حالتها العادية • ولكن اذا كان الغاز الذى يحدث فيه هذا التأين مشبعا ببخار الماء ، فان قطيرات صغيرة من الماء تتكون على كل أيون ـ فمن خواص بخار الماء أنه يميل الى التراكم على الأيونات وجزيئات الغبار وما الى ذلك ، بحيث تتكون أخيرا حزمة دقيقة من الضباب على امتداد مسار القذائف • وبعبارة أخرى يصبح خط سير أى جسيم مشحون فى غاز مرئيا تماما كمسار الدخان المنبعث من الطائرة •



(شكل رقم ٦٨)

صورة لغرفة « ويلسون » الغيمية •

وتعتبر « الغرفة الغيمية » من وجهة النظر الفنية جهازا غاية فى البساطة يتكون أساسا من اسطوانة معدنية (أ) لها غطاء زجاجى (ب) وبها مكبس (ج) يمكن تحريكه الى أعلى والى أسفل باستخدام جهاز لا يظهر فى الشكل • ويملأ الفراغ بين الغطاء الزجاجى العادى وسطح المكبس بالهواء الجوى العادى (أو أى غاز آخر) ، ويحتوى الهواء على كمية كبيرة من بخار الماء • فاذا انجذب المكبس فجأة الى أسفل عقب دخول القذائف الذرية الى الحجرة مباشرة من خلال النافذة (هـ) انخفضت درجة حرارة الهواء فوق المكبس وبدأ بخار الماء فى التكثف على شكل هذه الحزم الضبابية التى يضيئها نور قوى يدخل من النافذة الجانبية (د) وسوف تظهر الحزم بوضوح أمام خلفية من سطح المكبس الأسود ويمكن رؤيتها أو تصويرها فوتوغرافيا باستخدام الكاميرا (و) التى تعمل أتوماتيا مع حركة المكبس • ويسمح لنا هذا الجهاز البسيط وهو أحد أكثر الأجهزة توفرا فى الفيزياء الحديثة بالحصول على صور جميلة لنتائج القذف النووى •



(شكل رقم ٦٩)

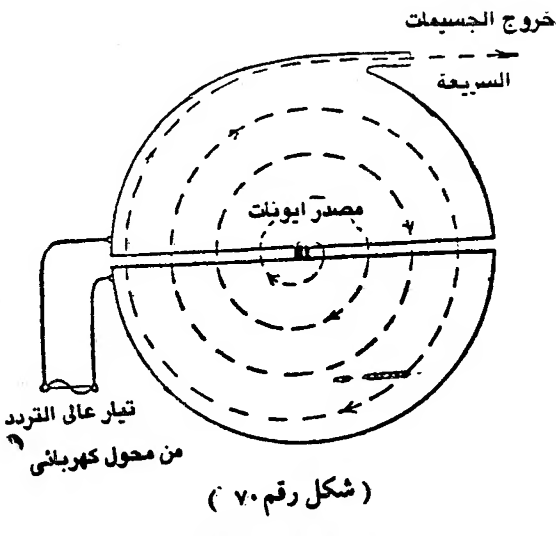
مبدأ عمل المولد الالكتروستاتى

من المعروف فى الفيزياء الأولية ان الشحنة عندما تتصل بموصل معدنى كروى تتوزع على سطحه • لذا نستطيع ان نشحن هذا الموصل بفرق جهد عال نتحكم فيه ، وذلك عن طريق ادخال شحنات صغيرة الواحدة بعد الأخرى الى جوف هذا الموصل بادخال موصل صغير الشحنة عن طريق فتحة مصنوعة فى الكرة ولمس سطح الكرة من الداخل وعمليا يستخدم الدارس بالفعل حزاما متصلا يدخل الى الموصل الكروى حاملا شحنات كهربية خارجة من محول كهربى •

وقد كان من الطبيعى كذلك أن تظهر الرغبة فى ابتكار وسائل يمكن من خلالها انتاج قوى من القذائف الذرية ، وذلك ببساطة عن طريق تعجيل الجسيمات المشحونة المختلفة (الأيونات) فى مجال كهربى قوى • وتوفر هذه الأدوات علينا استخدام عناصر مشعة ومكلفة ، بل وتسمح لنا باستخدام أنماط مختلفة من القذائف الذرية (كالبروتونات) والحصول على طاقات حركية أعلى من الطاقات التى يوفرها الانحلال الاشعاعى العادى. ومن بين أهم أدوات انتاج الأشعة الكثيفة المكونة من قذائف ذرية سريعة **المولد الالكتروستاتى** و « **السيكلوترون** » و « **المعجل الطولى** » وتجد وصفا موجزا لوظيفة كل منهم فى الأشكال ٦٩ ، ٧٠ ، ٧١ على التوالى •

وباستخدام الأنواع السابق الاشارة اليها من المعجلات الالكترونية

لانتاج أشعة قوية من القذائف الذرية المختلفة ، وتوجيه هذه الأشعة فى اتجاه أهداف مصنوعة من مواد مختلفة ، يمكن الحصول على عدد كبير من التحولات النووية التى يمكن دراستها بسهولة باستخدام صور « الغرف الغيمية » .



(شكل رقم ٧٠)

مبدا عمل السيكلوترون

يتكون السيكلوترون أساسا من علبتين شبه اسطوانيتين موضوعتين فى مجال مغناطيسى قوى (عمودى على مستوى الرسم) . وتتصل العلبتان بمحول كهربى ويتم شحنهما بشحنات موجبة وسالبة بالتبادل . وتحرك الايونات الخارجة من المصدر الأيونى فى المركز فى مدارات اسطوانية معجلة وذلك عند مرورها من علبة الى أخرى كل مرة . وكلما ازدادت السرعة كلما تحركت الأيونات فى مدار حلزونى مفتوح ثم تخرج أخيرا بسرعة عالية جدا .

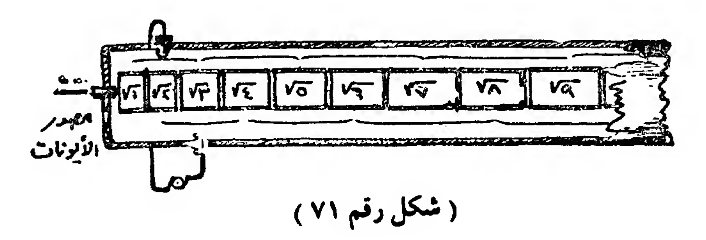
وقد حصل « بلاكت » على أول صورة من هذه النوعيـــة فى جامعة كامبريدج وكانت تمثل شعاعا من جسيمات ألفا المارة عبر حجرة ممتلئة بغاز النيتروجين (١٤) . وقد بينت هذه الصورة أساسا أن للمســارات طول محدد لأن الجسيمات تفقد طاقتها الحركية بالتدريج أثناء اختراقهـــا للوسط الغازى ثم تتوقف عن الحركة فى النهـــاية . وقد كان هنـــاك مجموعتان متميزتان فى طول المسار ممثلتان لمجموعتين من جسيمات ألفا مختلفتين فى طاقة المصدر (خليط من عنصرين تنطلق منهما جسـيمات ألفا وهما ThC^{1} ، ThC) ويمكن للمرء أن يلاحظ أن مسارات ألفا التى

---

(١٤) يتمثل التفاعل الكيميائى المسجل على صورة بلاكت فى المعادلة الآتية :

$$_{7}N^{14} + {_2}He^{4} \longrightarrow {_8}O^{17} + {_1}H^{1}$$

تبدو مستقيمة بصفة عامة وتظهر انحرافا محددا قبل النهاية ، حيث تفقد الجسيمات أغلب طاقتها الأصلية وتصبح عرضة للانحراف بسهولة نتيجة للصدام غير المباشر بأنوية ذرات النيتروجين التى تعترض طريقها • ولكن أهم ملامح هذه الصورة يكمن فى مسار معين لجسيم ألفا الذى يتفرع بشكل مميز الى فرعين أحدهما طويل ودقيق والآخر قصير وسميك وقد كان ذلك نتيجة الاصطدام القوى بين جسيم ألفا الساقط ونواة احدى ذرات النيتروجين فى الغرفة • ويمثل الخط الدقيق الطويل مسار بروتون مطرود من نواة النيتروجين تحت تأثير قوة الاصطدام ، بينما يعبر المسار القصير السميك عن النواة التى تنزاح جانبا عند الصدام • ويثير عدم وجود مسار معبر عن جسيم ألفا الساقط الى أن هذا الجسيم قد التحم بالنواة وأصبح يتحرك معها • وعندما يصطدم شعاع من البروتونات السريعة الخارجة من فتحة معجل مع طبقة من البورون موضوعة فى مقابل الفتحة ، فانه يبعث بشظايا نووية تتطاير فى كافة الاتجاهات فى الهواء المحيط وتظهر مسارات الشظايا ثلاثية دائما ، ذلك لأن اصطدام نواة البورون ببروتون يؤدى الى انقسامها الى ثلاثة أجزاء متساوية (١٥) ويكون مسار البروتون هو أطول المسارات المرئية عند حدوث اصطدام بين ديوترونات سريعة (الديوترون هو نواة الهيدروجين الثقيل المكونة من بروتون ونيوترون) بديوترونات أخرى فى مادة الهدف (١٦) (نواة $_1H^1$ ، فى حين تكون المسارات



(شكل رقم ٧١)

المعجل الخطى : يتكون الجهاز من عدد من الاسطوانات ذات أطوال متزايدة ويتم شحنها بواسطة محول كهربى بشحنات موجبة وسالبة على التوالى • وعند مرور الأيونات من اسطوانة الى أخرى تزيد سرعتها بالتدريج نتيجة لفرق الجهد الموجود وبذلك تزداد طاقتها كل مرة بدرجة معينة • وحيث ان السرعة تتناسب مع الجذر التربيعى للطاقة ، فان الايونات تظل متفقة الطور مع المجال المتبادل ، اذا كان طول الاسطوانات متناسبا مع الجذور التربيعية بالأرقام الصحيحة • وببناء نظام كاف فى طوله من هذا النوع يمكن تعجيل الأيونات لأى سرعة مطلوبة •

---

(١٥) معادلة التفاعل هى :

$$_5B^{11} + {}_1H^1 \longrightarrow {}_2He^4 + {}_2He^4 + {}_2He^4$$

(١٦) معادلة التفاعل هى :

$$_1H^2 + {}_1H^2 \longrightarrow {}_1H^3 + {}_1H^1$$

الأقصر هى مسارات أنوية الهيدروجين الثلاثى الثقيل المعروف بالتريترون tritron ولا يمكن لأى صورة للغرفة الغيمية أن تكتمل دون وجود تفاعل نووى تدخل فيه النيوترونات التى تعتبر هى والبروتونات المكونات الأساسية لبنية جميع الأنوية ٠

ومن غير المجدى اطلاقا أن نبحث عن مسارات النيوترون فى صور الغرفة الغيمية حيث انه فى غياب الشحنات الكهربية تمر هذه « الخيول السوداء ذات الطبيعة النووية » من المادة دون حدوث تأين من أى نوع ٠ ولكن عندما ترى الدخان المنبعث من بندقية الصياد ، والطائر الساقط من السماء تعرف أن رصاصة قد أطلقت حتى دون أن تراها ٠ وبالمثل عند النظر الى صورة الغرفة الغيمية التى تظهر فيهـــا نواة النيتروجين وقد انقسمت الى هليوم وبورون ، لن تستطيع الا أن تخمن أن النواة قد أطلقت عليها قذيفة ما بقوة ٠ والحقيقة أنك حتى تحصل على مثل هذه الصورة عليك أن تضع عند الجدار الأيسر للغرفة الغيمية خليطا من الراديوم والبريليوم وهو خليط معروف كمصدر للنيوترونات السريعة (١٧) ٠

ويمكن تحديد الخط المستقيم الذى كان النيوترون يتحرك فيه عبر الغرفة فى الحال ، وذلك بتوصيل نقطة مصدر النيوترون بالنقطة التى يحدث فيها انقسام ذرة النيتروجين ٠

ان عملية انقسام نواة اليورانيوم تظهر شظيتين من شظايا الانقسام المتطايرتين فى اتجاهين عكسيين من رقيقة معدنية من الألومنيوم تدعم طبقة اليورانيوم المستهدفة بالقذائف ٠ ولا يظهر النيوترون الذى تسبب فى الانشطار فى الصورة ولا النيوترون الناتج عنه بالطبع ، ونستطيع أن نمضى بلا نهاية فى وصف أنماط التحولات النووية الممكن الحصول عليها عن طريق القذف النووى بقذائف معجلة كهربيا ، ولكن الوقت قد حـان الآن لمناقشة سؤال أكثر أهمية يتعلق **بكفاءة** مثل هذا القذف ٠ وعلينا أن نتذكر أننا لكى نحول (١) جرام من البورون تماما الى الهليوم ينبغى أن نحدث انقساما فى كل ذرة من الذرات الموجودة فى البورون وعـددها ٥ر٥ × ١٠^٢٢ ٠ وينتج أقوى معجل كهربى حديثا حوالى ١٠^١٥ قذيفة فى الثانية ، لذا حتى لو كانت كل قذيفة ستحدث انشطارا فى احدى أنوية

---

(١٧) يمكن كتابة العمليات التى تحدث هنا بلغة الكيمياء كالآتى :

(أ) انتاج النيوترون :

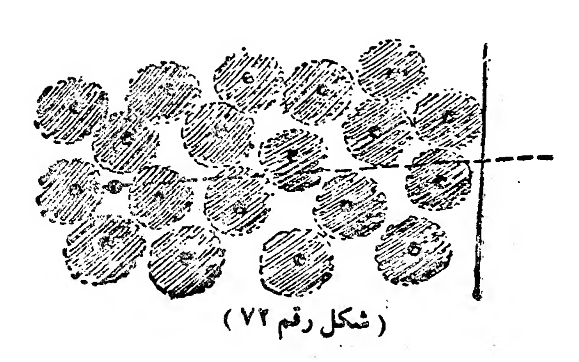
$$_4Be^9 + {_2He^4} \text{ (جسيم الفا من الراديوم) } \longrightarrow {_6C^{12}} + {_0n^1}$$

(ب) تأثير النيوترون على نواة النيتروجين :

$$_7N^{14} + {_0n^1} \longrightarrow {_5B^{11}} + {_2He^4}$$

البورون ينبغى علينا تشغيل الآلة لمدة ٥٥ مليون ثانية أو حوالى عامين لانهاء هذه المهمة ٠

والحق أن تأثير القذائف النووية المشحونة الناتجة عن آلة معجلة أقل من ذلك بكثير ، وعادة لا يمكن الا لقذيفة واحدة من بين عدة آلاف القذائف أن تحدث انقساما فى المادة المقذوفة ٠ ويكمن تفسير هذه الفعالية الضعيفة جدا للقذف فى أن نواة الذرة تكون محاطة بأغلفة من الالكترونات تؤدى الى ابطاء سرعة القذائف النووية المشحونة التى تتحرك بينها ٠ وحيث ان المساحة التى يحتلها الغلاف النووى أكبر بكثير جدا من المساحة التى تحتلها النواة كما أننا لا نستطيع بالطبع أن نوجه قذائف ذرية مباشرة على النواة ، اذن لابد لكل قذيفة أن تخترق العديد من الأغلفة الذرية قبل أن تتاح لها فرصة توجيه ضربة مباشرة لاحدى الأنوية ٠ ويعبر شكل (٧٢) عن هذه العملية حيث تظهر النواة فيه على شكل كتلة من الكرات السوداء ، وتعبر المساحة المظللة عن الأغلفة الالكترونية ٠ والنسبة بين قطر النواة وقطر الذرة حوالى ١ : ١٠٠٠٠ر١٠ فالقذف يستهدف اذن $\frac{١}{١٠٠٠٠٠٠٠٠}$ من الذرة ومن ناحية أخرى نحن نعرف أن الجسيم المشحون المار من غلاف الكترونى فى ذرة يفقد حوالى ٠١ر٪ من طاقته ، ولذا فهو يتوقف تماما بعد مروره من حوالى ٠٠٠ر١٠ جسم ذرى ٠ ومن السهل أن نرى من الأرقام السابقة أن حوالى جسيم واحد من كل ٠٠٠ر١٠ جسيم فقط سوف تتاح له الفرصة للاصطدام بالنواة قبل أن يستنفد طاقته الابتدائية تماما فى الأغلفة الذرية ٠ وبأخذ هذه الكفاءة المنخفضة للقذائف المشحونة على توجيه ضربات مدمرة لنواة المادة المستهدفة فى الاعتبار ، نجد أننا لكى نحول جراما من البورون تحويلا كاملا ينبغى أن نضعة فى طريق شعاع لجهاز حديث لتحطيم الذرة لمدة لا تقل عن ٠٠٠ر٢٠ عاما ! ٠



(شكل رقم ٧٢)

٤ ـ النوويات : (NUCLEONICS)

ان كلمة « النوويات » تعتبر من الكلمات القاصرة للغاية ، ولكنها مثل الكثير من الكلمات التى لا تزال تحتفظ بمكان فى الاستخدام العملى ولا حيلة فى ذلك · وكما يستخدم مصطلح « الالكترونيات » لوصف المعارف فى مجال التطبيق العملى المتسع على أشعة الالكترونات الحرة ينبغى أن نفهم من مصطلح « النوويات » أن المقصود به التطبيق العملى الواسع المجال للطاقة النووية المتحررة · وقد رأينا فى الأجزاء السابقة أن أنوية العناصر الكيميائية المختلفة (عدا الفضة) مشحونة بكميات هائلة من الطاقة الداخلية التى يمكن اطلاقها عن طريق عملية الاندماج النووى فى حالة العناصر الخفيفة ، والانشطار النووى فى حالة العناصر الثقيلة · وقد رأينا أيضا أن أسلوب القذف النووى بالجسيمات المشحونة المعجلة صناعيا ، على الرغم من أهميته للدراسة النظرية للتحولات النووية المختلفة لا يعول عليه فى الاستخدام العملى وذلك لضعف كفاءته الشديد ·

وحيث ان سبب نقص كفاءة القذائف النووية مثل جسيمات ألفا ، والبروتونات وهلم جره ·· يكمن أساسا فى شحنتها الكهربية التى تؤدى الى فقدانها للطاقة أثناء المرور من الأجسام الذرية ، ومنعها من الاقتراب بما يكفى من النواة المشحونة فى المادة المستهدفة للقذف ، فلابد أن نتوقع أننا نستطيع الحصول على نتائج أفضل بكثير باستخدام قذائف غير مشحونة ، وتوجيه ضربات الى أنوية الذرات المختلفة باستخدام النيوترونات · ومع ذلك فهنا تكمن الصعوبة ! فالنيوترونات لا توجد بمفردها فى الطبيعة بسبب قدرتها على اختراق البناء النووى دون صعوبة تذكر ، وعندما يطرد نيوترون الى خارج النواة بطريقة اصطناعية نتيجة لتوجيه قذيفة ما اليها (مثل نيوترون من نواة بريليوم تتعرض للقذف بأشعة ألفا) فسرعان ما تقتنصه نواة أخرى ·

ولذا حتى نتمكن من انتاج شعاع قوى من النيوترونات بغرض القذف النووى علينا أن نخلى أحد العناصر من جميع نيوتروناته · وهنا نعود مرة أخرى الى انخفاض كفاءة القذائف المشحونة التى يجب استخدامها فى هذا الغرض ·

ومع ذلك فهناك مخرج من هذه الحلقة المفرغة ، اذا استطعنا طرد النيوترونات باستخدام نيوترونات أخرى ، على أن يكون ذلك بحيث نجعل كل نيوترون يلد عدة نيوترونات(*)، عندئذ سوف تتضاعف هذه الجسيمات

(*) او حتى أكثر من نيوترون ·

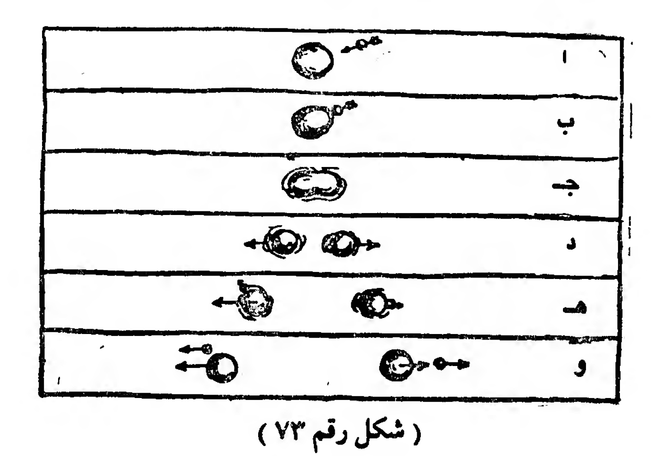
كالأرانب (انظر شكل ٩٧) ، أو البكتريا فى نسيج مصاب ، كما أن النيوترونات الناتجة سوف يزداد عددها بدرجة تكفيها لمهاجمة جميع الأنوية فى كتلة ضخمة من المادة ٠

ان الازدهار العظيم لعلم الفيزياء النووية ، هذا الذى خرج بالفيزياء من برجها العاجى حيث كانت عاكفة على دراسة أهم خواص المادة الى دوامة صاخبة من عناوين الصحف البراقة ، قد أشعل الجدل السياسى ٠ ويرجع التطور الهائل فى التصنيع والعلوم العسكرية الى اكتشاف تفاعل نووى معين يؤدى الى جعل تضاعف النيوترون أمرا ممكنا ٠ وكل قارىء للصحف يعلم أن الطاقة النووية ، أو الطاقة الذرية كما يطلقون عليها يمكن الحصول عليها من خلال عملية انشطار نواة اليورانيوم التى اكتشفها « هان » و « شتراسمان » فى أواخر عام ١٩٣٨ ٠

ولكن من الخطأ الاعتقاد أن الانشطار فى حد ذاته وهو انقسام نواة عنصر ثقيل الى جزأين متساويين هو السبب فى ذلك التفاعل النـــووى المستمر ٠ والواقع أن الشظيتين النوويتين الناتجتين عن الانشطار تحملان شحنات كهربية ثقيلة (حوالى نصف شحنة نواة اليورانيوم لكل منهما)، وهذا يمنع كلا منهما من الاقتراب من أى نواة أخرى ٠ لذا فان فقدان هـــاتين الشظيتين لشحنتيهما الأوليتين فى الأغلفـة الالكترونية للذرات المجاورة يجعلهما تبطآن تدريجيا الى أن تقفا دون احداث أى انشـــطار آخر ٠ ان ما يجعل الانشطار على هذه الدرجة من الأهمية بالنسبة لاحداث تفاعل نووى ذاتى ، هو الاكتشاف الذى مؤداه أن قبل سكون هاتين الشظيتين تخرج من كل منهما نيوترون (شكل ٧٣) ٠

وهذا الأثر الغريب اللاحق للانقسام يعزى الى أن النصفين الناتجين عن انشطار نواة ثقيلة يبدأ خروجهما الى الوجود فى حالة تذبذب عنيف مثلهما فى ذلك مثل قطعتين من زنبرك مكسور ٠ وهذه الذبذبات التى تعجز عن احداث انشطار نووى ثانوى (فى كل من الشظيتين الى جزأين) تكون مع ذلك من القوة بحيث تؤدى الى انفصال وحدات بنائية معنية من النواة ٠ وعندما نقول أن كل شظية تطرد نيوترونا واحدا فانما نقصــد بذلك الناحية الاحصائية وحسب ، ففى بعض الحالات قد تطرد الشـظية « نيوترونين » أو أكثر ٠ وقد لا تطرد شيئا فى حالات أخرى ٠ ويتوقف متوسط عدد النيوترونات المنطلقة من شظية منقسمة على كثافة الذبذبات فيها بالطبع ، وهو ما تحدده الطاقة الكلية المتحررة فى عملية الانقسام من ناحية أخرى ٠ وحيث ان الطاقة المتحررة فى الانقسام تتزايد ، كما رأينا من قبل ، مع تزايد وزن النواة المنقسمة فمن المتوقع أن متوسط عدد النيوترونات للشظيات المنقسمة يتزايد أيضا فى النظام الدورى تصاعديا ،

لذا فان انقسام نواة الذهب الذى يتطلب طاقة عالية جدا لبدء الانقسام سوف يعطى قدرا من النيوترونات أقل بكثير من نيوترون واحد لـــكل شظية ، كما أن انقسام اليورانيوم يعطى متوسطا قدره حوالى نيوترون لكل شظية (حوالى نيوترونين فى الانقسام) فى حين أن انقسام العناصر الأثقل (كالبلوتونيوم مثلا) يكون متوسط عدد النيوترونات المتحررة عن كل شظية نتيجة له أكبر من (١) نيوترون ٠



(شكل رقم ٧٣)

المراحل المتتابعة لعملية الانقسام

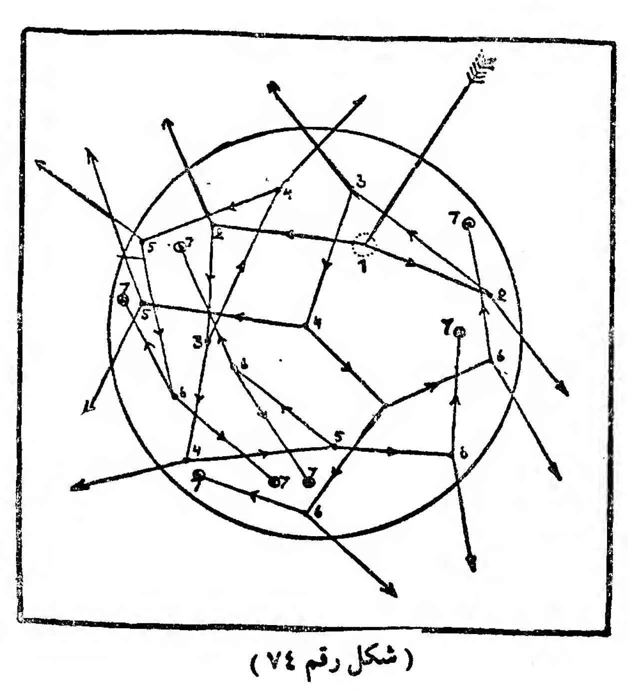
وحتى نوفر الظروف للتوالد المستمر للنيوترونات من الواضح أنه من كل مائة نيوترون يدخلون مادة مثلا لابد وأن نحصل على أكثر من مائة نيوترون من الجيل الثانى ٠ وامكانية تحقيق هذا الشرط تعتمد على الكفاءة النسبية للنيوترونات فى احداث انقسام لنوع ما من الأنويـة والحصول على العدد المتوسط من النيوترونات الجديدة بعد تحقيق هــذا الانقسام٠ وينبغى أن نتذكر أنه على الرغم من الكفاءة العالية للنيوترونات كقذائف ، برغم تفوقها الشديد على الجسيمات المشحونة ، الا أن قدرتها على احداث الانقسام ليست مائة فى المائة ٠ والواقع أنه من الممكن دائما أن يتخلى النيوترون عالى السرعة للنواة عن جزء من طاقته الحركية بعد دخولها ، ثم يهرب بما تبقى له من طاقة ، وفى هذه الحالات سوف تتوزع الطاقة بين عدة أنوية بحيث يكون نصيب كل منهـــا غير كاف لاحداث الانشطار ٠

ونستطيع أن نستنتج من النظرية العــامة لبنية النواة أن كفــاءة الانشطار بالنيـــوترونات تتناســـــب طرديا مع الوزن الذرى للعنصر المستهدف ، وتكاد تصل الى ١٠٠٪ بالنسبة للعناصر القريبــة من آخر الجدول الدورى ٠

ويمكننا الآن اعطاء مثالين رقميين على الظروف المناسبة وغير المناسبة لتولد النيوترونات :

(أ) افترض أن لدينا عنصرا تبلغ كفاءة النيوترونات السريعة على احداث الانشطار فيه ٣٥٪ وعدد النيوترونات الناتجة عن الانشطار فيه ١ر٦ (١٨) • وفي هذه الحالة يتسبب ١٠٠ نيوترون أصلى فى احداث ٣٥ انشطارا وتوليد ٣٥ × ١ر٦ = ٥٦ نيوترونا من الجيل الثانى •

ومن الواضح فى هذه الحالة أن عدد النيوترونات سينخفض بسرعة مع الوقت ، حيث ان كل جيل سيقل بمقدار النصف عن الجيل السابق عليه •



(شكل رقم ٧٤)

سلسلة تفاعلات نووية فى قطع كروى من مادة قابلة للانشطار نتيجة لنيوترون ضال • وعلى الرغم من فقدان العديد من النيوترونات بعبورها للسطح الا أن عدد النيوترونات فى الأجيال المتعاقبة يتزايد مما يؤدى الى انفجار •

(ب) وافترض الآن أننا قد أخذنا عنصرا أثقل تكون كفاءة النيوترونات على احداث انشطار فيه ٦٥٪ ومتوسط عدد النيوترونات الناتجة عن انشطاره ٢ر٢ • فى هذه الحالة سيتسبب ١٠٠ نيوترون أصلى فى ٦٥

---

(١٨) تم اختيار هذه الأرقام بهدف اعطاء المثـال فقط وهى لا تمثل أى عنصر حقيقى ما •

انشطارا وتوليد ٦٥ × ٢ر٢ = ١٤٣ • ومع كل جيـــل جديد يزيد عدد النيوترونات بنسبة قدرها ٥٠٪ • وفى خلال وقت قصير سيكون العدد كافيا لاحداث انشطار فى جميع أنوية العينة • ونحن هنا نتحدث عن **سلسلة التفاعلات النووية** المستمرة وتسمى المواد الخاضعة لهذا التفاعل **المواد القابلة للانشطار** •

وتفيد الدراسات النظرية والتجريبية الدقيقة في معرفة شروط حدوث سلسلة التفاعلات المتفرعة المستمرة وقد استنتج منها أنه من بين جميع الأنوية الموجودة فى الطبيعة **لا يوجد الا نوع واحد منها فقط يمكن أن** تحدث فيه هذه **التفاعلات طبيعيا ، وهو نواة نظير اليورانيوم الثـــقيل** U-235 **أويو ٢٣٥، وهى المادة الوحيدة القابلة للانشطار بصورة طبيعية** •

ومع ذلك فان U-235 لا يوجد فى الطبيعة على صورته النقية ، ويوجد دائما مخففا جدا بالنظائر الأثقل غير القابلة للانشطار من U-238 (٧ر فى المائة من U-235 ، و ٣ر٩٩ فى المائة من U-238) الأمر الذى من شأنه أن يعوق حدوث سلسلة التفاعلات فى اليورانيوم الطبيعى ، تماما كما يؤدى وجود الماء فى الخشب الى منع احتراقه • والواقع أن هـــذا التخفيف بالنظائر غير النشطة هو السبب الوحيد الذى يجعل U-235 موجودا فى الطبيعة ، حيث انه لولا ذلك لكان هذا اليورانيوم قد اندثر منذ فترة طويلة نتيجة لسلاسل التفاعلات المتفرعة التى تتم فيه • لذا فحتى يمكن استخدام طاقة U-235 لابد للمرء من أن يفصل هذه الأنوية عن أنوية U-238 الأثقل ، أو أن يبتكر وسيلة لمعادلة الأثر المعوق لهذه الأنوية دون التخلص منها بالفعل • وقد استخدمت كلتا الطريقتين فى مشكلة تحرير الطاقة الذرية ولاقت كل منهما نجاحا • وسوف نناقش هذا بايجاز بعد قليل حيث ان المشكلات الفنية من هذا النوع لا تدخل فى اطار هذا الكتاب (١٩) •

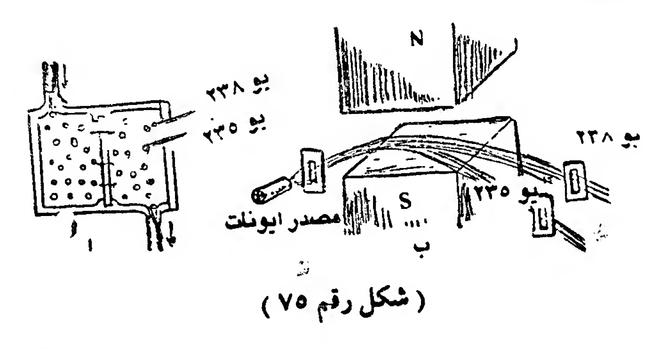
ان عملية الفصل المباشرة لنظيرى اليورانيوم تمثـل مشكلة تقنيـة بالغة الصعوبة ، حيث ان الفصل لا يمكن أن يتم باســـتخدام الوسائل المعتادة فى الكيمياء الصناعية بسبب تطـابق النظـيرين فى خواصهما الكيميائية • والفارق الوحيد بين هذين النـــوعين من الذرات يكمن فى كتلتيهما فاحداهما أثقل من الأخرى ب ٣ر١ فى المائة • وهذا يوحى بأن

---

(١٩) لمزيد من التفاصيل نحيل القارىء الى كتاب « شرح الذرة » تأليف « ســـليج هيكت » والذى صدرت أولى طبعاته عن « فايكنج برس » عام ١٩٤٧ وتوجد طبعة جديدة ، منقحة ومفصلة للبروفيسور « ايوجين رابين فيتش » فى سلسلة « كومباس » الشعبية •

الفصل يعتمد على عمليات مثل الانتشـــار ، والطرد المركزى أو انحراف الأشعة المتأينة فى المجالات المغناطيسية والكهربيـــة حيث تلعب كتلة الذرات المنفصلة دورا أساسيا ٠ وقد عرضنا فى شكل ٧٥ (أ ، ب) رسما تخطيطيا لعمليتى الفصل الأساسيتين مع وصـــف موجز لكل منهما ٠

وعيب هذه الوسائل بصفة عامة يكمن فى أن عملية الفصل لا يمكن انجازها فى خطوة واحدة بسـبب الفارق الضـــئيل بين كتلتى نظيرى اليورانيوم ، ولذا فالأمر يتطلب اعادة عددا كبيرا من المرات بحيث يحتوى الناتج على عدد أكبر من النظائر الخفيفة وعلى أية حال يمكن لعدد معقول من مرات الاعادة أن يمدنا بعينة نقية من U-235



(شكل رقم ٧٥)

(أ) فصل النظائر عن طريق الانتشار حيث يضخ الغاز المحتوى على النظيرين فى الجزء الأيسر من الحجرة وينتشر عبر الجدار الذى يفصله عن الجزء الآخر وحيث أن الجزيئات الخفيفة أسرع انتشارا فان الجزء الذى على اليمين يصبح مزودا باليورانيوم ٢٣٥ ٠

(ب) فصل النظائر باستخدام الأسلوب المغناطيسى ٠ ويرسل فيه الشعاع عبر مجال مغناطيسى قوى ، حيث تنحرف الجزيئات المحتوية على نظير اليورانيوم الأخف بدرجة أكبر ٠ وحيث أن الحصول على كثافة جيدة يتطلب استعمال فتحات واسعة ، فان الشعاعين (يورانيوم ٢٣٥ ، يورانيوم ٢٣٨) يتداخلان جزئيا وبالتالى نحصل على فصل جزئى فحسب ٠

وهناك طريقة أكفأ بكثير فى اجراء سلسلة تفاعلات اليورانيوم حيث يتم اضعاف الأثر المعوق للنظائر الأثقـل صناعيا باســـتخدام ما يعرف ب « ملطف النيوترونات » Moderator ٠ وحتى يتسنى لنا فهم هذه الطريقة ينبغى أن نتذكر أن التأثير السالب لنظائر اليورانيـــوم الثقيلة يكمن أساسا فى امتصاص نسبة مئوية كبيرة من النيوترونات المنتجة عند انشطار U-235 ، وبالتالى يوقف امكانية سير سلسلة التفاعلات المستمرة لذا ، فاذا استطعنا أن نفعل شيئا لمنع U-238 من اختطاف النيوترونات

قبل أن تتاح لها فرصة الالتقاء مع نواة U-235 وهو الأمر الذى يؤدى الى انشطارها فان المشكلة تكون قد حلت . وتبدو مهمة منع أنوية U-238 (وهى أكثر عددا من أنوية U-235 ١٤٠ مرة) من الاستيلاء على نصيب الأسد فى النيوترونات ، مسألة مستحيلة تماما لأول وهلة ومع ذلك فان مما يساعدنا على هذا أن قدرة النيوترون (الاســـــتيلائية) فى نظيرى اليورانيوم تختلف وفقا لسرعة حركة النيوترون .

فبالنسبة للنيوترونات السريعة التحرر من النواة المنقسـمة تكون قدرات الاستيلاء فى النظيرين واحدة ، ومن ثم يستولى U-238 على ١٤٠ نيوترون مقابل كل نيوترون يستولى عليه U-235 . أما النيــوترونات متوسطة السرعة فيعتبر نواة U-238 قناصـــا أمهر من نواة U-235 . ومع ذلك ، وهـــو المهم ، فان نواة U-235 أكفـــأ بكثـير فى اقتناص النيوترونات البطيئة جدا . وهكذا اذا استطعنا خفض سرعة نيوترونات الانشطار بحيث تقل سرعتها الأصلية الى حد كبير قبل أن تواجه أول نواة يورانيوم (٢٣٨ أو ٢٣٥) فى طريقها فان أنوية U-235 رغم كونها أقلية تكون فرصتها أكبر من نواة U-238 فى الاستيلاء على النيوترونات .

ويمكن تحقيق هذا الابطاء المطـــلوب بتوزيع عـــدد كبير من قطع اليورانيوم الصغيرة فى مادة معينة (مهدىء النيوترونات) مما يؤدى الى خفض سرعة النيوترونات دون فقـــدان الكثير منها . وأفضـــل المواد المستعملة لهذا الغرض : الماء الثقيل ، والكربون ، وأملاح البريليوم وترى فى شكل (٧٦) صورة تخطيطية لكيفية عمل هذا المفاعل الذرى من حبيبات اليورانيوم الموزعة داخل مادة ملطفة للنيوترونات (٢٠) وكما أشرنا سابقا تعتبر نظائر اليورانيوم U-235 (وهى تمثـــل ٧ر فى المائة فقـط من اليورانيوم الطبيعى) هى النوع الوحيـــد الموجود من الأنوية القابلة للانشطار التى تسمح بحدوث سلسلة التفاعلات المستمرة ، ومن ثم فهى تؤدى الى تحرير الطاقة النووية على نطاق واسع .

ومع ذلك فهذا لا يعنى أننا عاجزون عن الحصول صناعيا على أنوية أخرى تتوافر لها نفس خواص U-235 ولا توجد فى الطبيعة . فالواقع أن استخدام الكميات الكبيرة من النيوترون الناشئة عن سلسلة التفاعـلات المستمرة فى عنصر قابل للانشطار يمكننا من تحويل الأنوية غير القابلة للانشطار أصلا الى أنوية قابلة للانشطار .

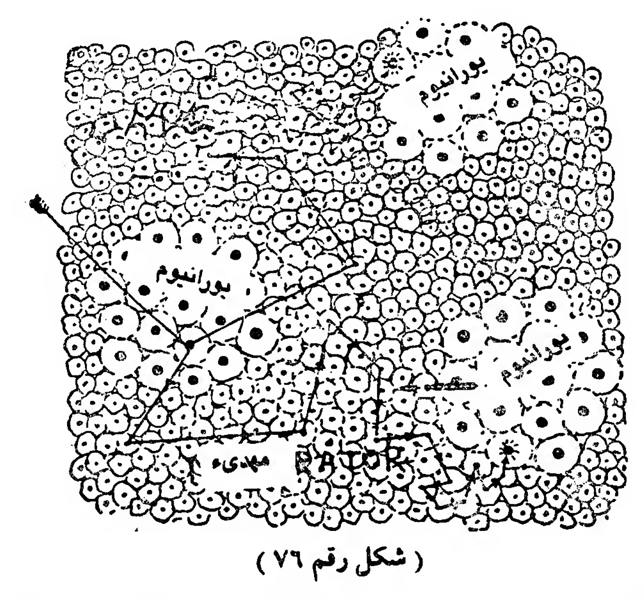
وقد سبقت الاشارة الى أول الأمثلة على هذا النوع فى « المفاعل »

---

(٢٠) لمزيد من التفاصيل عن مفاعلات اليورانيوم نحيل القارىء ثانية الى الكتب المتخصصة فى الطاقة الذرية .

الذرى ، حيث يتم استخدام اليورانيوم الطبيعى مختلطا بالمادة الملطفة ٠ ولقد رأينا أنه باستخدام الملطف يمكننـــا أن نخفض من قدرة U-238 على أسر النيوترونات الى الحد الذى يسمح ببدء واستمرار سلسلة تفاعلات مستمرة بين أنوية U-235 ٠ ومع ذلك فان بعض النيوترونات لاتزال عرضة للاستيلاء عليها بواسطة U-233 والى أين يقودنا هذا ؟

ان النتيجة المباشرة لأسر النيوترون فى U-238 هى بالطبـع نظير اليورانيوم الأثقل U-239 ومع ذلك فقد وجد أن هذه الأنوية الناشئة لا تعمر لفترة طويلة ، وباطلاقها لالكترونين واحدا بعد الآخر تتحول هذه النواة الى عنصر كيميائى جديد رقمه الذرى ٠٩٤ **وهذا العنصر الاصطناعى الجديد والمعروف بالبلوتونيوم** (PU-239) **أكثر قابلية للانشطار حتى من** U 235 واذا استبدلنا ب U-238 عنصرا طبيعيا نشطا هو الثـــوريوم (Th 232) فان نتيجة الاستيلاء على النيوترون وانطلاق الكترونين بعد ذلك سوف يؤدى الى الحصول على عنصر اصــــطناعى آخر قابل للانشـطار وهو U-233



(شكل رقم ٧٦)

ان هذا الرسم الذى يقترب الى حد ما من الرسوم البيولوجية يمثـــل كتل اليورانيوم (الذرات الكبيرة) الكامنة فى مادة ملطفة (الذرات الصغيرة) ٠ ويدخل نيوترونان ناشئان عن انشطار نواة يورانيوم فى الكتلة اليسرى الى الملطف ، وتنخفض سرعتهما تدريجيا عبر سلسلة من الاصطدامات مع الأنوية وعندما يصل هذان النيوترونان الى كتل يورانيوم أخرى تنخفض سرعتهما الى حد كبير ويقعان فى أسر نواة U-235 ، وهى أكبر كفاءة بكثير فى اقتناص النيوترونات البطيئة عن أنوية U-238

وهكذا فانه بالبدء بالعنصر الطبيعى القابل للانشطار U-235 واجراء التفاعل فى دورات يمكننا ، سيما من حيث المبدأ ، أن نحول الامداد الكلى باليورانيوم الطبيعى والثوريوم الى نواتج قابلة للانشطار يمكن استخدامها كمصادر مكثفة للطاقة النووية .

وسوف نختتم هذا الجزء بتقدير تقريبى لاجمالى الطاقة المتاحة للتنمية السلمية ، أو التدمير العسكرى الذاتى مستقبلا فقد قدر أن اجمالى U-235 الموجود فى المناجم المعروفة حاليا لهذا الخام قد يوفر قدرا من الطاقة النووية يكفى للوفاء بمتطلبات الصناعة العالمية (بعد تحويلها بالكامل الى طاقة نووية) لبضعة أعوام . ومع ذلك اذا وضعنا فى الحسبان امكانية استخدام U-238 بعد تحويله الى بلوتونيوم ، فان التقدير الزمنى يقفز الى بضعة قرون . وبالتحول الى مناجم الثوريوم (بتحويله الى U-233 وهى أوفر بأربع أضعاف من اليورانيوم نجد أن هذا التقدير يمتد الى أبعد بكثير ويصل الى ألفى عام على الأقل ، وهى فترة كافية لجعل كل مشاعر القلق من « أزمة الطاقة الذرية فى المستقبل » أمرا لا مبرر له .

ومع ذلك فاذا تم استخدام كافة مصادر اليورانيوم والثوريوم ولم تكتشف مناجم أخرى جديدة ،فان الأجيال القادمة سوف تستطيع الحصول على طاقة نووية من الصخور العادية . والواقع أن اليورانيوم والثوريوم مثلهما مثل جميع العناصر الكيميائية توجدان عمليا بكميات ضئيلة فى أى مادة عادية . ولذا فان صخرة الجرانيت العادية تحتوى على ٤ جرام من اليورانيوم و ١٢ جراما من الثوريوم لكل طن . وتبدو هذه الكميات لأول وهلة ضئيلة جدا ولكن هيا نجرى بعض العمليات الحسابية :

نحن نعلم أن كل كيلوجرام من المواد القابلة للانشطار يحتوى على طاقة تساوى طاقة ٢٠٫٠٠٠ طن من مادة تى.ان.تى عند الانفجار (كما فى القنبلة الذرية) ، أو حوالى ٢٠٫٠٠٠ طن من الجازولين عند استخدامه كوقود . ولذا فان ١٦ جراما من اليورانيوم والثوريوم وهى الكمية الموجودة فى طن من الجرانيت تعادل ٣٢٠ طنا من الوقود العادى اذا تحولت الى مادة قابلة للانشطار . ويكفى هذا ليبرر جميع جهود الفصل المعقدة ـ ولا سيما اذا وجدنا أن مناجم الفحم الغنية توشك على النفاذ .

وبالتغلب على مشكلة تحرير الطاقة من أنوية العناصر الثقيلة كاليورانيوم ، اتجه الفيزيائيون اتجاها عكسيا الى عملية الاندماج النووى المعروفة ، حيث تندمج نواتا عنصرين خفيفين لتكوين نواة أثقل محررة بذلك كما كبيرا من الطاقة أيضا . وكما سنرى فى الفصل الحادى عشر أن شمسنا تستمد طاقتها من عملية الاندماج حيث تتحد أنوية الهيدروجين

العادية لتعطى فى النهاية نواة الهيليوم الأثقـــل ، نتيجـة للاصطدامات الحرارية العنيفة داخل الشـــــمس • ويعتبر الهيـــــدروجين الثقيـــل (الديوتيريوم) أفضل العناصر لتغذية عمليات التضاعف المستمر للتفاعلات النووية الحرارية للأغراض الانسانية • وتحتوى نواة الديوتيريوم وتسمى « بالديوترون » على بروتون واحد ونيـــوترون واحد ، وعنـــد اصطدام ديوترونين يحدث أحد التفاعلين الآتيين :

- ديوترونان ⟵ هيليوم - ٣ + نيوترون
- ديوترونان ⟵ هيدروجين - ٣ + بروتون

ويتم هذا التحول فى درجات حرارة تصل الى مئات الملايين •

وتعتبر القنبلة الهيدروجينية أول اختراع بنى على الاندماج النووى وفيها يتم تحفيز تفاعل الديوتيريوم بانفجار قنبلة انشـــــطار • ومن المشكلات الأعقد من ذلك بكثير : **التفاعل النووى الحرارى القابل للتحكم** ، وهو اذا تم يوفر كميات هائلة من الطاقة للأغراض السلمية •

ويمكن التغلب على المشكلة الرئيسية ـ وهى محاصرة الغاز الرهيب السخونة ـ باستخدام مجالات مغناطيسية قوية تمنع الديوترونات من لمس جـــدران الحاويات (الأوعيـــة) وحصرها فى جزء مركزى ملتهب (ولولا ذلك لانصهرت جدران الأوعية وتبخرت) •

الفصل الثامن

قانون الفوضى

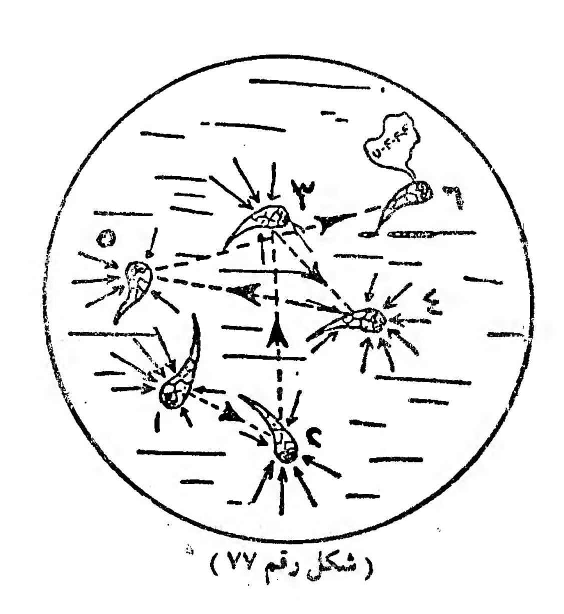
١ ـ الفوضى الحرارية :

عندما تصب كوبا من الماء وتنظر اليه ، سـوف ترى سائلا رائقا متجانسا لا أثر فيه لأى جسم غريب أو حركة من أى نوع (بشرط عدم هز الكوب طبعا) · ومع ذلك فنحن نعرف أن تجانس الماء ليس الا أمرا ظاهريا ، فعند تكبير هـذا السائل ملايين المرات سوف نرى بناءا من الحبيبات الواضحة تماما يتمثل فى عـدد هـائل من الجزيئات المنفصلة المحتشدة معا ·

ويتضح تحت نفس التكبير أن الماء ليس ساكنا اطلاقا ، وأن جزيئاته فى حالة حركة صاخبة تمضى فى كل مكان متدافعة كما لو كانت جمهورا من البشر يتدافع فى الزحام · وتسمى هذه الحركة غير المنتظمة لجزيئات الماء ، أو جزيئات أى عنصر آخر بالحرارة **أو الحركة الحرارية** ، والسـبب يرجع ببساطة الى أن هذه الحركة مسئولة عن ظاهرة الحرارة · وذلك لأنه على الرغم من أن حركة الجزيئات فضلا عن الجزيئات نفسها لا ترى بالعين المجردة ، فان هذه الحركة هى التى تصنع توترا معينا فى الألياف العصبية لأجهزة الانسان وتخلق لديه هذا الاحساس الذى يسمى بالحرارة · وتؤثر الحركة الحرارية على الأنظمة الحية الأصغر (مثل البكتيريا المعلقة فى قطرة ماء) تأثيرا أشد من تأثيرها على الانسان · اذ تركل الجزيئات الغاضبة هذه المخلوقات الضعيفة وتدفعها ، وتدور بها ، وتهاجمها دون أن تترك لهـا مجالا حتى لالتقاط الأنفاس (شكل ٧٧) · وتعرف هذه الظاهرة العجيبة

باسم « الحركة البراونية » وقد سمت بهذا الاسم تخليدا لعالم النباتات الانجليزى « روبرت براون » الذى كان أول من لاحظها منذ أكثر من قرن من الزمان عند دراسته لبذرة نبات صغير • وهى ظاهرة عامة تلاحظ عند دراسة أى نوع من الجزيئات المعلقة فى سائل بشرط أن تكون صغيرة الى حد كاف ، أو أى جزيئات ميكروسكوبية فى الدخان أو الغبار السابح فى الجو ، فاذا سخنا السائل تزداد الرقصات الصاخبة للجزيئات المعلقة فيه عنفا ، وعند تبريده تقل كثافة الحركة الى حد ملحوظ • وهذا لا يدع مجالا للشك فى أننا نشاهد أثر الحركة الحرارية التى تحدث فى الماء ، وأن ما نسميه عادة « حرارة » ليس أكثر من قياس لدرجة العنف فى حركة الجزيئات . وقد وجد عند دراسة العلاقة بين الحركة البراونية والحرارة أنه عند درجة (— ٢٧٣) مئوية أو (— ٤٥٩) فهرنهيت تتوقف حركة الماء وتهدأ الجزيئات تماما • ومن الواضح أن هذه هى أقل درجة حرارة ولهذا عرفت باسم « **الصفر المطلق** » •

ومن السخف أن نتحدث بعد ذلك عن درجات الحرارة الأقل فبديهى أنه لا توجد حركة أبطأ من الاسترخاء التام ! •



(شكل رقم ٧٧)

ثلاثة أماكن متعاقبة لخلية بكتيرية تدور تحت تأثير الجزيئات (هذا صحيح فيزيقيا ولكنه غير صحيح تماما بكتريولوجيا) •

وبالاقتراب من الصفر تصبح طاقة جزيئات أى عنصر ضئيلة جدا الى درجة أن قوى التماسك بينها تربطها معا فى كتلة واحدة ، وقصارى

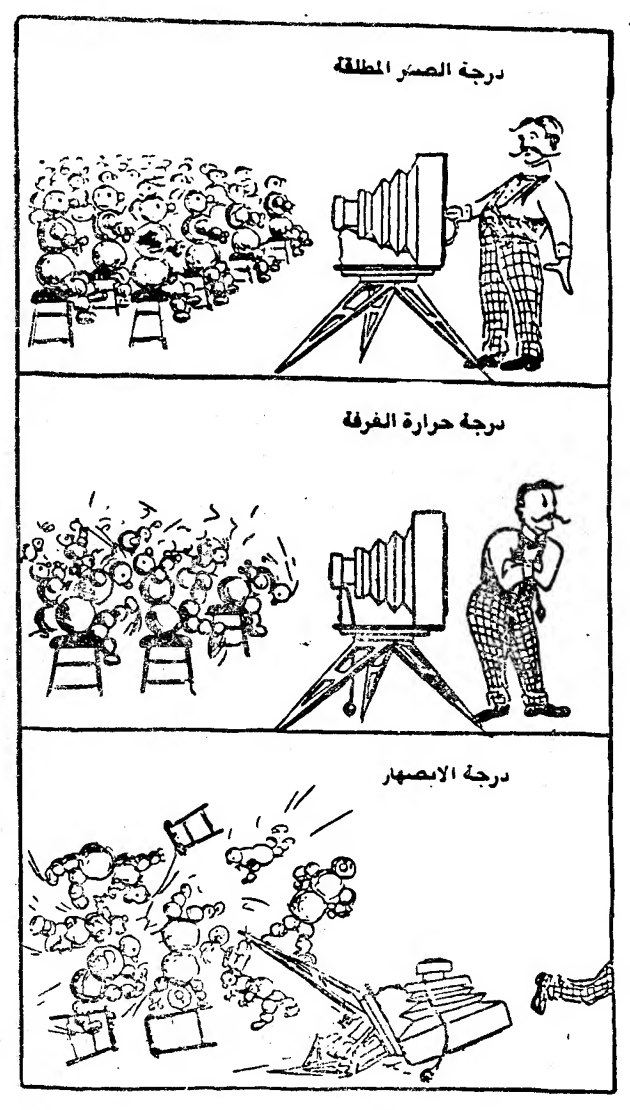
ما يمكن لهذه الجزيئات أن تفعله أن تهتز قليـــلا فى حالة التجمـد وعندما ترتفع الحرارة تزداد كثافة الحركة ، وفى مرحلة معينــة تكتســب هذه الجزيئات حرية ما فى الحركة وتستطيع الانزلاق على بعضها ٠

وتختفى صلابة التجمد ليتحول العنصر أو المادة الى سائل ٠ وتتوقف الحرارة التى يبدأ عندها الانصهار على شدة قوى التماسك بين الجزيئات ٠ ففى الهيدروجين ، أو خليط النيتروجين والأكسجين مثلا (الهواء الجوى) يكون التماسك بين الجزيئات ضعيفا جدا ٠ وتنكسر حالة التجمد بالصخب الحرارى عند درجـات حرارة أقل نســبيا ٠ ولذا فان الهيـــدروجين لا يوجــد فى حالة تجمــد الا عنــد درجـــات الحرارة الأقــل من ١٤ درجـــة مطلقـة (*) (أى أقل من (— ٢٥٩) فهرنهيت) ، وينصهر الاكســجين والنيتروجين الصـــلب عند درجة ٥٥ مطلقـــة ، و ٦٤ مطلقة على الترتيب (أى — ٢١٨ مئوية ، و — ٢٠٩ مئوية) ٠ وفى المواد الأخرى تزداد قوى تماسك الجزيئات وتبقى على حالتها الصلبة حتى درجات الحرارة العالية ، لذا فان الكحول النقى يظل متجمدا حتى — ١٣٠ درجة مئوية فى حين أن الماء المتجمد (الثلج) لا ينصهر الا عند درجة الصفر المئوى ٠ وتبقى مواد أخرى على صلابتها حتى درجات حرارة أعلى ٠ فقطعة الرصاص لا تنصهر الا عند درجة ٢٣٧ مئوية ، والحديد عند ١٥٣٥ مئوية والمعدن النادر المعروف بالأزميوم يبقى على صلابته حتى درجـــة حرارة ٢٧٠٠ مئوية ٠ وعلى الرغم من أن الجزيئات تظل مقيدة بأماكنها فى الحالة الصلبة للمواد ، فان هذا لا يعنى اطلاقا أنها لا تتأثر بالتهيج الحرارى ٠ فالواقع أنه وفقا لقانون الحركة الحرارية الأساسى تكون كمية الطاقة لكل جزىء واحدة فى كل العناصر ، صلبة كانت أم سائلة أم غازية مهمــا كانت الحرارة ٠ والفارق الوحيد هنا أنه بينمـــا تكون الطاقة كافية فى بعض الحالات لانتزاع الجزيئات من أماكنها الثابتة ودفعها الى القيام بحركة دائرية فانها فى حالات أخرى لا تكفى الا لهزها فى أماكنها تماما كالكلاب الهائجة المقيدة بالسلاسل ٠

ويمكن ملاحظة هــــذه الهزة أو الذبذبة فى جزيئات جسم صلب بسهولة فى صور أشعة اكس التى ناقشناها فى الفصل السابق وقد وجد فى الحقيقة أن التقاط صور الجزيئات فى نسق بلورى يتطلب وقتا طويلا ، ومن ثم فانها تتحرك من مواقعها لا محالة أثناء التصوير ٠ وهذا الاهتزاز

(*) وينصهر عند نفس الدرجة (المترجم) ٠

المستمر حول موقع معين لا يساعد جودة التصوير ، ولكنه يؤدى الى طمس الصورة نوعا ما • فحتى نحصل على صورة دقيقة لابد من تبريد البلورات لأقصى درجة ممكنة •



(شكل رقم ٧٨)

ويمكن أن نفعل ذلك أحيانا بتغطيسها فى الهواء السائل • ومن جهة أخرى اذا حدث ، وقام شخص بتدفئة البلورات التى سيتم تصويرها

تزداد الصورة انطماسا أكثر وأكثر ، وعند درجة الانصهار تختفى الجزيئات تماما ، اذ أنها تترك مواقعها وتبدأ فى حركة عشوائية فى المادة ٠

وبعد انصهار المادة الصلبة تظل الجزيئات متحدة ، حيث ان التهيج الحرارى وان كان قويا الى درجة تحريكها من مواقعها المحددة فى النسق البلورى ، الا أنه يظل غير كاف لفصلها عن بعضها تماما ٠ ولكن عند درجات الحرارة الأعلى تعجز قوى التماسك عن الربط بين الجزيئات ولذا تتطاير بعيدا فى جميع الاتجاهات مالم تمنعها الجدران المحيطة بها من ذلك ، وعند ذلك تتحول المادة طبعا الى الحالة الغازية وكما فى انصهار الأجسام الصلبة يحدث التبخر عند درجات حرارة تختلف باختلاف المادة ، فتتحول المواد التى تكون قوى التماسك فيها ضعيفة الى بخار عند درجات حرارة أقل من المواد ذات التماسك الأقوى ٠ وفى هذه الحالة تعتمد العملية بصفة أساسية على الضغط الواقع على السائل لأن الضغط الخارجى يساعد قوى التماسك بوضوح فى عملها ٠ ولهذا يغلى الماء كما نعرف جميعا فى الاناء المغلق باحكام عند درجة حرارة أقل منه فى الاناء المكشوف ٠ ومن جهة أخرى يغلى الماء على قمم الجبال عند درجة أقل من ١٠٠ درجة مئوية حيث يكون الضغط الجوى أضعف بكثير منه على الأرض ٠ وتجدر الاشارة هنا الى أن المرء يستطيع من درجة غليان الماء أن يحسب الضغط الجوى ومن ثم ارتفاع المكان الذى يوجد فيه عن سطح البحر ٠

ولكن لا تحاول أن تفعل ما فعله « مارك توين » (*) الذى حاول كما قال أن يضع بارومترا معدنيا فى غلاية حساء البازلاء ، فهذا لن يعطيك أى فكرة عن مستوى الارتفاع بالاضافة الى أن أكسيد النحاس سيفسد مذاق الحساء ٠

وتتناسب درجة حرارة الانصهار لعنصر ما مع درجة غليانه تناسبا طرديا لذا فان الهيدروجين السائل يغلى عند درجة (– ٢٥٣) مئوية ، والاكسجين السائل عند درجة (– ١٨٣) مئوية ، والنيتروجين السائل عند درجة (– ١٩٦) مئوية ، والكحول عند درجة (٧٨) مئوية والرصاص عند (١٦٢٠) مئوية ، والحديد عند درجة (٣٠٠٠) مئوية أما الأوزميوم فلا يغلى الا عند درجات أعلى من ٥٣٠٠ درجة مئوية (١) ٠

ويتسبب انحلال البناء البلورى الجميل للأجسام الصلبة فى دفع الجزيئات أولا لأن تسبح حول بعضها وكأنها حشد من الديدان ، ثم تطير متباعدة كما لو كانت سربا من الطيور المذعورة ٠ على أن هذه الظاهرة

(*) روائى امريكى وكاتب ساخر من أشهر رواياته The Prince and the Pauper توفى عام ١٩١٠ ٠

(١) القيم المذكورة تصح فقط فى الضغط الجوى العادى ٠

لا تزال قاصرة عن التعبير عن الأثر المدمر مزيادة الحركة الحرارية · وعندما ترتفع درجة الحرارة عن ذلك يشكل هذا تهديدا لوجود الجزيئات نفسها حيث ان العنف المضطرد فى الصدام بين الجزيئات يصبح قادرا على تفتيتها الى ذرات منفصلة · وهذا **التفكك الحرارى** كما يسمونه يعتمد على القوة النسبية للجزيئات المتعرضة له · فتنحل جزيئات بعض المواد العضوية الى ذرات ، أو مجموعات ذرية منفصلة عند درجات تصل فى انخفاضها الى بضع مئات من الدرجات · على أن موادا أخرى أقوى فى بنائها مثل الماء يستلزم تدميرها ارتفاع درجة الحرارة الى أكثر من ألف · فاذا وصلت الحرارة الى عدة آلاف من الدرجات ، فانها لا تبقى على أى جزىء وتتحول المادة الى خليط غازى من العناصر الكيميائية ·

وهذه هى حالة سطح الشمس حيث تصل الحرارة الى ٦٠٠٠ درجة مئوية · وتبقى الجزيئات كما هى فى بعض « النجوم الحمراء » التى تقل حرارتها نسبيا (٢) · وهى حقيقة أثبتتها التحليل الطيفى مفادها أن العنف الناتج عن الصدامات الحرارية فى درجات الحرارة المرتفعة لا يفكك الجزيئات الى مكوناتها الأساسية فحسب ولكنه يدمر هذه الذرات نفسها ، بطرد ألكتروناتها الخارجية · ويزداد هذا **التأين الحرارى** فعالية بارتفاع درجة الحرارة الى عشرات ومئات الآلاف من الدرجات ثم وصولها الى عدة ملايين فوق الصفر · وعند هذه الدرجات الرهيبة من الحرارة ، والتى تعلو على أى درجة يمكن الوصول اليها فى المعامل على الرغم من شيوعها داخل النجوم ولا سيما باطن الشمس ـ تفنى الذرات ، وتتمزق المدارات الالكترونية ، وتصبح المادة خليطا من الأنوية والالكترونات الحرة التى تتدافع بعنف عبر الفضاء وتصطدم ببعضها بقوة رهيبة ·

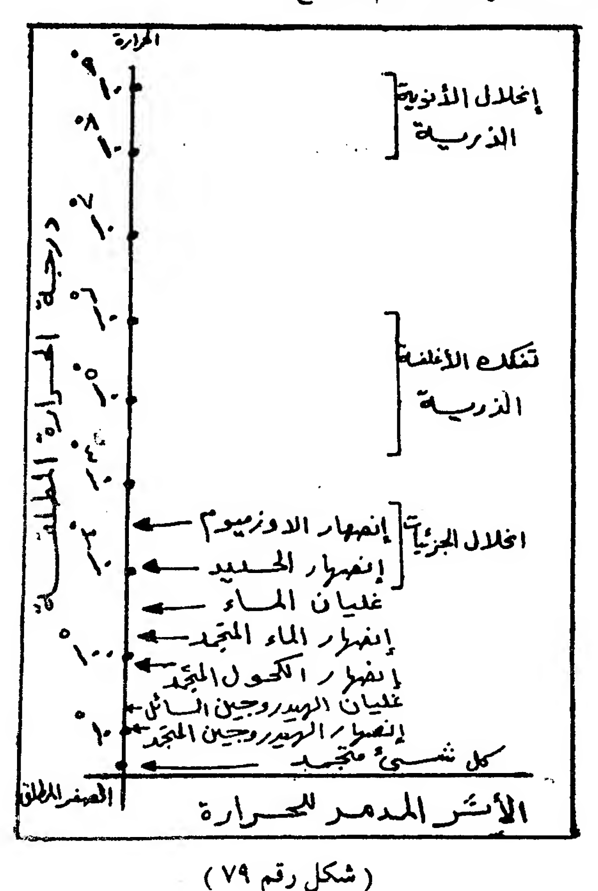
ومع ذلك فعلى الرغم من التدمير التام للأجسام الذرية تظل المادة محتفظة بخواصها الكيميائية الأساسية طالما كانت النواة على حالها لا تمس · واذا انخفضت درجة الحرارة تستعيد الأنوية الكتروناتها ويعود تكامل الذرة الى سابق عهده ·

وحتى يمكن حدوث التفكك الحرارى التام للمادة ، أى انحلال الأنوية نفسها الى نويات (بروتونات ونيوترونات) ، لابد من ارتفاع درجة الحرارة حتى تصل على الأقل الى بضعة ملايين من الدرجات · ولا توجد هذه الحرارة المرتفعة حتى بداخل النجوم الملتهبة على الرغم من أنه يبدو أن مثل هذا الارتفاع الحرارى قد وجد بالفعل منذ بلايين السنين عندما كان كوننا لا يزال حديث العهد · ولنا عودة الى هذا السؤال المثير فى آخر فصول الكتاب ·

---

(٢) انظر الفصل الحادى عشر ·

وهكذا نرى أن أثر التهييج الحرارى هو تدمير البناء المحكم للمادة خطوة خطوة ، وهو هذا البناء الذى يعتمد على قانون الكم ، ثم يتحول من بنية رائعة الى كتلة من الجزيئات المتدافعة بعنف ، والتى تصطدم ببعضها البعض دون أى قانون أو نظام واضح ·



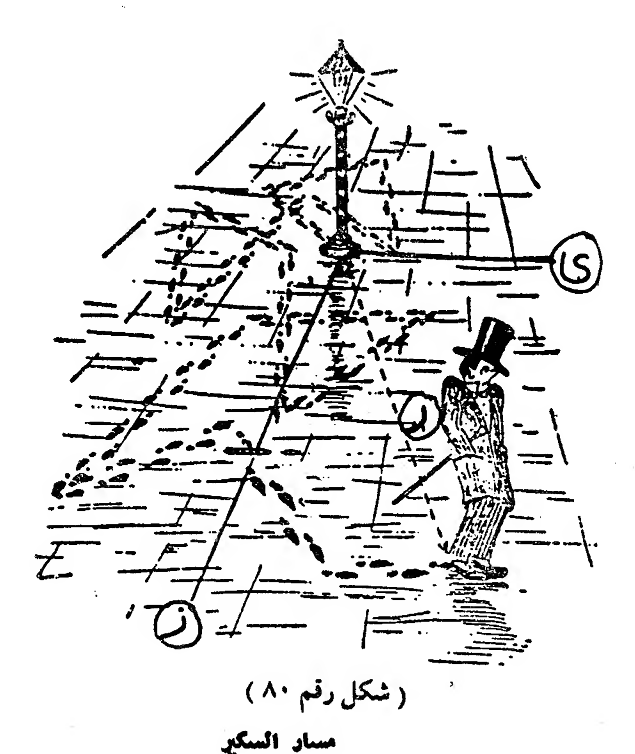
(شكل رقم ٧٩)

٢ ـ كيف يمكن وصف الفوضى الحركية ؟ :

انه لخطأ كبير أن نعتقد أن الحركة الحرارية لابد وأن تظل خارج نطاق أى توصيف طبيعى وذلك بسبب عدم انتظامها · والواقع أن هذه الحقيقة بعينها وهى عدم **انتظام** الحركة الحرارية أبدا يجعلها خاضعة لنوع جديد من القوانين ، وهو قانون الفوضى أو الأفضل أن نسميه باسمه المعروف : **قانون السلوك الاحصائى** ·

وحتى نفهم العبارة السابقة دعونا نتأمل مسألة مشهورة وهى مشكلة « مسار السكير » · وافترض أننا نراقب سكيرا قد ألقى بجسمه على عامود

انارة وسط ميدان كبير ممهد (لا نعرف كيف أو متى وصل الى هناك) ٠ ثم قرر السكير فجأة أن يذهب الى مكان غير محدد ٠ ويبدأ فى سيره آخذا بضع خطوات فى اتجاه واحد ثم بضع خطوات فى اتجـــاه آخر وهكذا مغيرا مســـاره كل بضـــع خطـوات بصـــورة لا يمكن التنبـــؤ بهـــا اطلاقا (شكل ٨٠) ٠ فكم يبعـــد صاحبنا عن عامود النـــور بعد أن قطع فرضا مائة مرحلة ضـــمن رحلته المتعرجة غير المنتظمة ؟ وربمـــا تعتقد لأول وهلة أن هذا السؤال لا يمكن اجابته لعدم القدرة على تحديد كل انحراف فى السير أو التنبؤ به ٠ ولكننا بقليل من امعان النظر نجد أن رغم استحالة التنبؤ بمكان الرجل فى نهاية رحلته ، الا أننا نستطيع الاجابة عن السؤال الخاص **بالمسافة المحتملة** بينـــه وبين عامود الانارة بحساب عدد ما من مراحل السير ٠ وحتى يمكن تنـــاول هذه المسألة بأسلوب رياضى بحت علينا أن نرسم محورى احداثيات أصلهما هـــذا العامود : بحيث يكون المحور (ز) آت فى اتجاهنا والمحور (ى) على يميننا ، و (ر) بعد السكير عن العمود بعد اجمالى (ن) شوطا متعرجا (وهى ١٤ شوطا فى شكل ٨٠) والآن اذا كان كل من (ز ن) و (ى ن) هما اسقاطان للمرحلة ن على المحورين المقابلين ، فان نظرية فيثاغورث يعوض عنها كالتالى :



(شكل رقم ٨٠)

مسار السكير

$ر^2 = (ز_1 + ز_2 + ز_3 .. + ... ز_ن)^2 + (ى_1 + ى_2 + ى ... + ى_ن)^2$ حيث قيم ى ، ز سالبة وموجبة وفقا لاتجاه السير من العامود واليه فى مرحلة ما من سير السكير . ولاحظ أنه مادامت حركته **عشوائية تماما فسوف يكون** عدد قيم ز ، ى الموجبة مساويا لقيمها السالبة . وعنـــد حساب القيم التربيعية للحدود بين الأقواس وفقا لقواعد الجبر الأولية ينبغى أن نضرب كل حد فى الأقواس فى نفسه وفى جميع الحدود الأخرى لذا فان :

$$(ز_1 + ز_2 + ز_3 \ldots، ز_ن)^2$$

$$= (ز_1 + ز_2 + ز_3 \ldots، ز_ن)(ز_1 + ز_2 + ز_3 \ldots، ز_ن)$$

$$= ز_1^2 + ز_1 ز_2 + ز_1 ز_3 + \ldots ز_2^2 + ز_1 ز_2 + ز_ن^2)$$

ويتضمن هذا المقدار الكبير مربع جميع قيم ز ($ز_1^2$ ، $ز_2^2$ .... $ز_ن^2$) ، بالاضافة الى « حاصل الضرب المختلط » $ز_1 ز_2$ ، $ز_2 ز_3$ .. الخ)

وحتى هذه الخطوة نحن لا نزال فى مجال الحسابات البسيطة ، والآن ننتقل الى نقطة احصائية وهى عدم انتظام سير السكير ، وحيث انه يتحرك حركة عشوائية تماما بحيث يحتمل أن تكون خطوته فى اتجاه العمـــود أو عكس هذا الاتجاه بنفس القدر ، اذن فان القيمة ز اما سالبة أو موجبة بنسبة خمسين فى المائة وبالتالى اذا نظرت فى « حواصل الضرب المختلط فيحتمل دائما أن تجد أزواجا من نفس القيمة عدديا ، ولكنها مختلفة فى الاشارة وبذا يلغى بعضها بعضا ، وكلما زاد عدد مراحل الطريق كلما كان احتمال التعويض أكبر . عندئذ تبقى مربعات القيم ز فالمربع موجب دائما ، وبذلك يمكن كتابة المعادلة كالآتى :

$$ز_1^2 + ز_2^2 + \ldots\ldots ز_ن^2 = ن ز^2$$

حيث ز هى متوسط الطول لاسقاط مرحلة من خط السير المتعرج على المحور (ز) . وينطبق نفس الشىء على القــوس الثانى ($ى_1 + ى_2$ .....) الذى يمكن اختزاله الى ى $ن^2$) حيث ى متوسط اسقاط المرحلة على المحور (ى) .

وهنا يجب أن نكرر أن ما قمنا به ليس مجرد عملية جبرية ، ولكننا نستند الى فكرة احصائية أيضا وهى : التعويض بين (حواصل الضرب المختلط) نتيجة الطبيعة العشوائية لسير السكير . ومن ثم يكون أقوى الاحتمالات لبعده عن العامود ممثلا فى المقدار : $ر^2 = ن\ (ز^2 + ى^2)$

أو

$$ر = \sqrt{ن} \times \sqrt{ز^2 + ى^2}$$

ولما كان متوسط مسقط المرحلة على المحورين يرسم خطا مستقيما يميل بزاوية ٤٥° لذا فان $\sqrt{ز^2 + ى^2}$ هو (وهذا أيضا من نتائج نظرية فيثاغورث) يساوى ببساطة متوسط طول المرحلة ، فاذا عوضنا عنها بقيمة ولتكن (١) نحصل على :

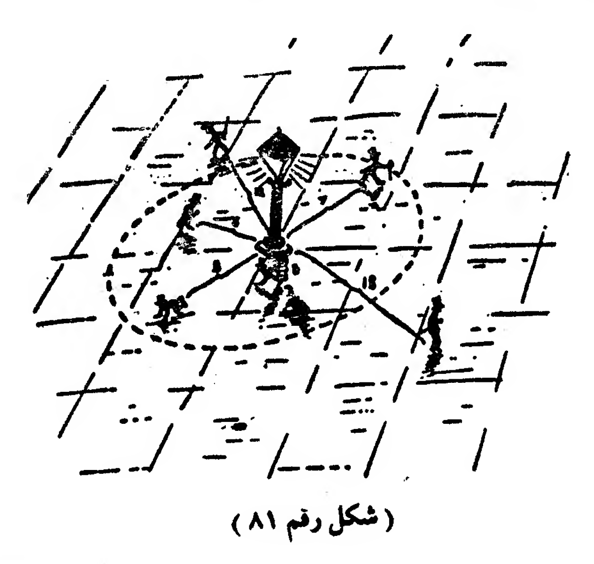
$$ر = ١ \times \sqrt{ن}$$

وبعبارة أوضح نقول ان هذه النتيجة معناها : **ان أقوى احتمال لبعد السكير عن العمود بعد عدد كبير ما من الاستدارا تالعشوائية يساوى الطول المتوسط لكل المراحل المستقيمة التى يمشيها ، مضروبا فى الجذر التربيعى لعدد هذه المراحل .**

لذا فاذا كان الرجل يمشى فى كل مرة ياردة واحدة قبل أن يستدير (بزاوية غير معروفة سلفا !) فلن يزيد بعده على أرجح تقدير عن ١٠ ياردات من عمود الانارة بعد أن يمشى مسافة مقدارها ١٠٠ ياردة . واذا لم يستدر وسار فى خط مستقيم فسيبعد بمقدار مائة ياردة وهذا يوضح مدى الفائدة التى تجنيها من الاتزان فى السير .

ان الطبيعة الاحصائية للمثال السابق لا تظهر الا عند الحديث عن **البعد الأكثر احتمالا** ، وليس البعد بالضبط فى كل حالة على حده . وفى حالة فرد سكير قد يحدث ، رغم عدم احتمالية ذلك ، أن هذا السكير لا يستدير أبدا ، وان يمشى بدءا من العمود فى خط مستقيم . وربما يحدث أيضا أن يستدير بمقدار ١٨٠ درجة مثلا بحيث يواجه العامود بعد كل ثانى استدارة . ولكن اذا بدأ عدد كبير من السكارى سيرهم من نفس عمود الكهرباء فى مسارات متعرجة دون التداخل مع بعضهم ، ستجد بعد وقت كاف أنهم قد انتشروا على مساحة معينة حوله ، بحيث يمكن حساب **بعدهم المتوسط** عن العمود بتطبيق القاعدة السابقة . وتجد فى شكل ٨١ مثالا على هذا الانتشار الناتج عن حركتهم غير المنتظمة ، حيث قمنا بدراسة حركة ستة سكارى سائرين . وبديهى أنه كلما زاد العدد كلما زاد عدد الاستدارات التى يقومون بها أثناء سيرهم غير المنتظم ، وكلما زادت دقة القاعدة .

والآن استبدل بالسكارى بعض الأجسام الميكروسكوبية مثـــل بذور النبات) أو البكتيريا المعلقة فى سائل ، وسترى نفس الصورة التى رآها عالم النباتات « براون » تحت الميكروسكوب · وحقيقى أن البكتيريا أو البذور ليست سكارى ، ولكن كما أشرنا من قبل أنها تركل فى جميع الاتجاهات الممكنة بسبب الجزيئات المحيطة بها والداخلة فى الحركة الحرارية ، وهى بالتالى مدفوعة الى اتباع نفس المسارات المتعرجة تماما كالسكير الذى يفقد السيطرة على حواسه تحت تأثير الكحول ·



(شكل رقم ٨١)

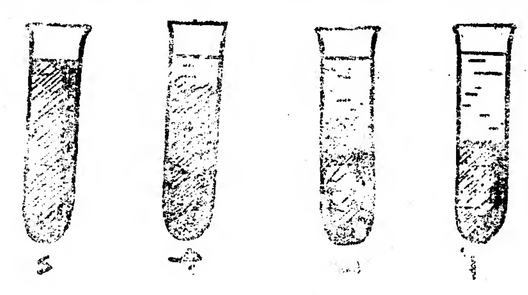
انتشار او توزيع احصائى لستة من السكارى حول عامود انارة ·

واذا ما راقبت الحركة البراونية لعدد كبير من الجسيمات المعلقة فى قطرة ما باستخدام الميكروسكوب ، سيتركز انتباهك فى مجموعة معينـة منها ، وهى التى تكون فى ذلك الوقت مركزة فى مســـاحة صغيرة معينة (قرب « عامود الانارة ») · وستلاحظ انه مع الوقت سوف يزداد انتشارها فى مجال الرؤية ، وأن بعدها المتوسط عن نقطة الأصل يزيد بما يتناسب مع الجذر التربيعى للفترات الزمنية ، كما يفهم من القانون الرياضى المستخدم فى حساب المسافة التى يسيرها السكير ·

وينطبق نفس القانون طبعا على كل جزىء منفصل فى قطرة الماء ، بيد أنك لا تستطيع رؤية الجزيئات منفصلة عن بعضها ، وحتى ان استطعت فلن تستطيع أن تميزها عن بعضها · وحتى يمكن تمييز هذه الحركة يجب على المرء استخدام نوعين مختلفين من الجزيئات وليكن اختلافهما فى اللون مثلا · وهكذا يمكن أن نملأ نصف أنبوبة اختبار بمحلول مائى لبرمنجنات

البوتاسيوم الذى يكسب الماء لونا ارجوانيا زاهيا · فاذا صببنا بعد ذلك بعض الماء النقى عليه مع مراعاة عدم الخلط بين الطبقتين ، سنشاهد أن اللون يتخلل الماء الرائق بالتدريج · فاذا انتظرت مدة كافية تجد أن كل الماء من قاع الانبوبة حتى سطحها يصبح لونه موحدا · وهذه الظـــاهرة مألوفة للجميع وتعرف باسم **ظاهرة الانتشار** ، وترجع الى الحركة الحرارية غير المنتظمة للصبغة بين جزيئات الماء · وعلينا أن ننظر كل جزىء من برمنجنات البوتاسيوم باعتباره سكيرا صغيرا ينساق ذهابا وايابا تحت التأثير المستمر للجزيئات الأخرى عليه ·

وحيث ان الجزيئات تحتشد بجانب بعضها بقوة فى الماء (على العكس من ترتيبها فى الغاز) ، فان متوسط السير الحر لكل جزىء بين كل صدامين متتاليين يكون قصيرا للغاية اذا لا يزيد عن حوالى ١٠ ^-٨^ بوصة · وحيث ان الجزيئات تتحرك في درجة حرارة الغرفة بسرعة مقدارها حوالى ١ر ميكرون فى الثانية ، فانها تستغرق ١٠ ^-١٢^ ثانية فحسب بين كل اصطدامين · لذا فانه فى فترة الثانية الواحدة يتعرض كل جزىء من الصبغة لحوالى ١٠^١٢^ اصطداما متواليا ، كما أنها تغير اتجاهها نفس هذا العدد من المرات · وتكون المسافة المقطوعة أثناء الثانية الاولى ١٠ ^-٨^ بوصة (طول السـير الحر) مضروبة فى الجذر التربيعى ل ١٠^١٢^ · ويعطى هذا سرعة انتشار متوسطة مقدارها ٠١ر بوصة/ث (*) · وهو معدل بطىء نوعا بالنظر الى أنه لولا الانحرافات الناشئة عن الصدام لكان بعد نفس الجزىء ١ ميكرون ! · فاذا انتظرت ١٠٠ ثانية ، سيكون الجزىء قد شق طريقه عبر مسافة تزيد على ذلك ١٠ مرات (√١٠٠ = ١٠) ، وبعد ١٠٠٠٠ ثانيـــة أى حوالى ٣ ساعات ، سوف يكون الانتشار قد حمل اللون الى مسافة أبعد ١٠٠ مرة (√١٠٠٠٠ = ١٠٠) أى على بعد بوصة واحدة · نعم ان عملية الانتشار عملية بطيئة ، فعندما تضع قطعة من السكر فى كوب الشاى ، فمن الأفضل أن تقلبه بدلا من انتظار انتشار جزيئات السكر فى الكوب نتيجة لحركتها .



(شكل رقم ٨٢)

(*) أى حوالى ٠٠٣ر ملم/ث تقريبا (المترجم) ·

وهناك مثال آخر نقدمه لك على عملية الانتشار ، وهى احدى أهم العمليات فى فيزياء الجزيئات ، فتعال نتأمل فى انتشار الحرارة فى سيخ حديدى أحد طرفيه موضوع فى مدفأة ، وبالخبرة تعرف أن ارتفاع درجة حرارة الطرف الآخر للسيخ مما يتعذر معه الامساك به تستغرق وقتا طويلا جدا · ولكن ربما كنت لا تعلم أن الحرارة تنتقل فى هذه العصا المعدنية بعملية الانتشار الالكترونى · نعم ان سيخ الحديد العادى مملوء فعلا بالالكترونات مثله مثل أى جسم معدنى آخر · والفارق بين المعادن وغيرها من المواد كالزجاج مثلا ، هو أن ذرات المعادن تفقد بعض ألكتروناتها الخارجية التى تنتقل بين أجزاء النسق المعدنى مشاركة فى حركة حرارية غير منتظمة تشبه كثيرا جزيئات أى غاز عادى ·

وتحول القوى السطحية على حدود قطعة معدنية بين هذه الألكترونات وبين الانفلات[3] ، ولكن حركتها داخل المادة تكاد تكون حرة تماما · فاذا سرت قوة الكهرباء فى سلك معدنى اندفعت الالكترونات الحرة مباشرة فى اتجاهها مما يؤدى الى ظهور التيار الكهربى ·

لكن اللافلزات ، من ناحية أخرى ، تعتبر بصفة عامة عوازل جيدة لأن جميع ألكتروناتها تكون مقيدة الى الذرات ولهذا لا تكون لها حرية الحركة ·

وعند وضع أحد طرفى الساق المعدنية فى النار ، تزداد الحركة الالكترونية للالكترونات الحرة فى هذا الجزء الى درجة كبيرة ، وتبدأ الالكترونات السريعة فى الانتشار فى المناطق الأخرى حاملة معها الطاقة الحرارية الزائدة · وتشبه هذه العملية حركة جزيئات الصبغة خلال الماء تماما فيما عدا أنه بدلا من وجود نوعين من الجسيمات (جزيئات الماء ، وجزيئات الصبغة) يكون لدينا هنا **انتشار للغاز الألكترونى الساخن فى المناطق التى يشغلها الغاز الالكترونى البارد** · وهنا أيضا ينطبق قانون مشى السكير من حيث ان المسافة التى تقطعها الحرارة بطول ساق معينة تتناسب طرديا مع الفترات الزمنية للانتشار ·

وبانتهاء المثال الأخير على الانتشار سنتعرض الى حالة ذات أهمية كونية فى الفصول القادمة · فحرارة الشمس تتولد على أعماق بعيدة فى باطنها نتيجة تحولات كيميائية للعناصر ثم تتحرر الطاقة الحرارية على شكل اشعاع كثيف · وتبدأ « جزيئات الضوء » أو الكم الضوئى فى رحلة

---

(٣) عند رفع درجة حرارة سلك معدنى الى درجة عالية تصبح الحركة الحرارية للالكترونات داخلة أكثر عنفا وتفلت من سطح السلك · ويستفاد بهذه الظاهرة فى الصمامات الالكترونية وهى معروفة لكل هواة اللاسلكى ·

طويلة من باطن الشمس حتى سطحها . ولما كان الضوء ينتقل بسرعة ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ث ، ونصف قطر الشمس يبلغ حوالى ٧٠٠٫٠٠٠ كم فان كم الضوء لا يستغرق أكثر من ثانيتين فى الخروج بشرط عدم انحرافه فى السير عن الخط المستقيم . ومع ذلك فان هذا بعيد عن الواقع ، حيث يتعرض هذا الكم فى سيره الى عدد لا يحصى من الصـــدامات مع ذرات وألكترونات مادة الشمس . ويبلغ طول المسار الحر للكم الضـــوئى فى المادة الشمسية حوالى ١ سنتيمتر (وهو أطول بكثير من المســـار الحر للجزىء !) وحيث ان نصف قطر الشمس يساوى ٧×١٠^{١٠} سم (*) فلابد أن هذا الكم يقطع $(٧ \times ١٠^{١٠})^{٢}$ أو ٥×١٠^{٢١} خطوة ثملة حتى يصل الى السطح . وحيث ان كل خطوة تستلزم وقتا قدره $\frac{١}{٣ \times ١٠^{١٠}}$ أو ٣×١٠^{-١١} ثانية فان اجمالى زمن الرحلة يســـاوى $٣ \times ١٠^{-١١} \times ٥ \times ١٠^{٢١} = ١٫٥ \times ١٠^{١١}$ ث ، أو حوالى ٥٠٠٠ سنة !! ومرة أخرى نرى مدى بطء عملية الانتشار . فالضوء يستغرق ٥٠ قرنا فى رحلته من مركز الشمس الى ســـطحها ، فى حين أنه بعد خروجه الى الفضاء الكوكبى ، والتحرك فى خط مستقيم يغطى المسافة بين الشمس والأرض بالكامل فيما لا يزيد عن ثمان دقائق ! .

٣ ـ حساب الاحتمالات :

ما عملية الانتشار الا مثال تطبيقى بسيط على قانون الاحصـــاء الاحتمالى (بالنسبة للحركة الجزيئية) . وقبل الاستطراد فى المناقشة ، والتعرض لقانون **التعادل** البالغ الأهمية ، اذ يتعرض لقـــواعد السلوك الحرارى لجميع الأجسام المادية سواء أكانت قطيرة من ســـائل أم الكون النجمى العظيم ـ يجب أولا أن نستزيد من العلم بطرق الاحصاء الاحتمالى للأحداث البسيطة والمركبة .

ولا يزال أشهر الأمثلة على حساب الاحتمالات حتى الآن محصور فى القاء العملة . ونعلم جميعا أن فرص الحصول على أى الوجهين عند القاء العملة (دون غش) متساوية . وعادة نقول أن فرصة الحصول على الوجه أو الكتابة هى ٥٠٪ ، ولكن من المتعارف عليه فى الرياضيات أن نقول ان الفرص هى $\frac{١}{٢} : \frac{١}{٢}$ ، فاذا جمعنا الفرضين نحصل على $\frac{١}{٢} + \frac{١}{٢} = ١$.

(★) اى ٧٠٠٠ بليون متر تقريبا (المترجم) .

ان الواحد فى نظرية الاحتمالات يعنى اليقين ، فالواقع أنك متأكد تماما ان القاء العملة سيؤدى الى ظهور اما الوجه واما الكتـــابة مالم تتدحرج مختفية خلف أريكة دون أن تترك أثرا ٠

والآن افرض أنك ألقيت بالعملة مرتين متتاليتين ، أو ألقيت عملتين فى نفس الوقت ، والأمر سيان ٠ وسيتضح لك بسهولة أن ٤ احتمالات تظهر فى شكل (٨٣) ٠

ففى الحالة الأولى تحصل على وجهين ، وفى الحالة الأخيرة تحصل على الكتابة مرتين ، أما الحالتين الأخريين فنتيجتهما واحدة اذ أن الترتيب غير مهم (سواء فى العملتين أو فى واحدة) ٠ وهكذا تقول ان احتمال الحصول على وجهين هو واحد من ٤ أو ١/٤ ، وكذا احتمال الحصـــــول على الكتابة مرتين ٠ أما الحصول على وجه وكتابة فاحتماله ٢ من ٤ أو ١/٢ ٠ ومرة أخرى نحسب ١/٤ + ١/٤ + ١/٢ = ١ وهكذا يعنى أنك واثق من الحصول على احدى صور التباديل السابقة ٠



(شكل رقم ٨٣)

٤ تباديل ممكنة عند القاء عملتين

والآن لنرى ما يحدث عند القاء العملة ثلاث مرات ٠ وهناك اجمالا ٨ احتمالات يلخصها الجدول التالى :

الرمية الأولى :	و	و	و	و	ك	ك	ك	ك
الرمية الثانية :	و	و	ك	ك	و	و	ك	ك
الرمية الثالثة :	و	ك	و	ك	و	ك	و	ك
	(١)	(٢)	(٢)	(٣)	(٢)	(٣)	(٣)	(٤)

وبدراسة هذا الجدول تجد أن هناك فرصة واحدة للحصول على ثلاثة وجوه ، وكذا بالنسبة للحصول على كتابة ثلاث مرات ، وتنقسم الاحتمالات الباقية بالتساوى بين الوجه مرتين والكتابة مرة ــ والكتابة مرتين والوجه مرة ، باحتمال ٣/٨ لكل حدث ٠

ثم يتسع جدول الاحتمالات بسرعة ، ولكن دعنا نكتفى بخطوة واحدة بالقاء العملة ٤ مرات ، فيكون لدينا ١٦ احتمالا :

الرمية الأولى : و و و و و و و و ك ك ك ك ك ك ك ك
الرمية الثانية : و و و و ك ك ك ك و و و و ك ك ك ك
الرمية الثالثة : و و ك ك و و ك ك و و ك ك و و ك ك
الرمية الرابعة : و ك و ك و ك و ك و ك و ك و ك و ك

١ ٢ ٢ ٣ ٢ ٣ ٣ ٤ ٢ ٣ ٣ ٤ ٣ ٤ ٤ ٥

وهنا نجد احتمالا قدره ١/١٦ للحصول على الوجه ٤ مرات ونفس الاحتمال بالضبط للحصول على كتابة ٤ مرات ٠ أما الحصول على الوجه ثلاث مرات والكتابة مرة أو العكس فيكون احتماله ٤/١٦ أو ١/٤ لكل منها فى حين أن احتمال الحصول على الوجه والكتابة بالتساوى فيكون ٦/١٦ أو ٣/٨ ٠

أما اذا حاولت اجراء عدد أكبر من الرميات فسيتسع الجدول وسرعان ما تجد نفسك وقد تجاوزت الصفحة ٠ فعند عشر رميات مثلا يكون لديك ١٠٢٤ احتمالا مختلفة (أى ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢ × ٢). ولكن هذا الجـدول المطــول ليس ضروريا على الاطلاق ، طالما أن قانون الاحتمال البسيط يمكن ملاحظته فى هذه الأمثلة البسيطة التى سردناها ثم استخدمناها مباشرة فى حالات أكثر تعقيدا ٠

بادىء ذى بدء ترى أن احتمال الحصول على وجهين يساوى حاصل ضرب احتمال الحصول عليه فى الرمية الاولى ثم فى الثانية حيث ١/٤ = ١/٢ × ١/٢ ٠ وبالمثل احتمال الحصول على الوجه ثلاث أو أربع مرات متتالية هو حاصل ضرب احتمالات الحصــول عليــه فى كل رمية على حــدة ١/٨ = ١/٢ × ١/٢ × ١/٢ ؛ ١/١٦ = ١/٢ × ١/٢ × ١/٢ × ١/٢) ٠ لهــذا اذا سألك أى شخص عن فرص الحصول على وجه كل مرة فى عشر رميات تستطيع ببساطة أن تضرب ١/٢ × ١/٢ عشر مرات ٠ وتكون النتيجة ٠٠٠٩٨ر وهذا يعنى أن الاحتمال منخفض جدا فى الواقع وهو حوالى ١ فى الألف ! وهنا نصل الى قاعدة « ضرب الاحتمالات » والتى **تنص على أنه اذا أردت عدة**

اشياء مختلفة ، تستطيع أن تحدد الاحتمال الرياضي للحصول عليها بضرب الاحتمالات الرياضية لكل منها على حدة .

فاذا كانت هناك أشياء عديدة تريدها ، وكل منها ليس محتملا فى الواقع فان فرص الحصول عليها **جميعا** تكون منخفضة الى درجة تثير الاحباط ! .

وهناك قاعدة أخرى وهى « جمع الاحتمالات » وتنص على أنه **اذا كنت تريد شيئا واحدا من عدة أشياء (بغض النظر عن هذا الشىء) فان الاحتمال الرياضى للحصول عليه هو مجموعة الاحتمالات الرياضية لكل واحد منها بمفرده .**

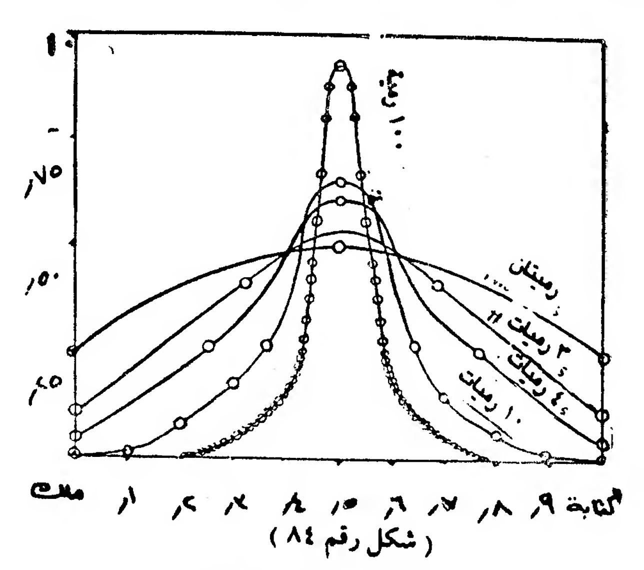
ويمكن ايضاح ذلك فى مثال الحصول على تقسيم متساو بين الوجه والكتابة عند رمى العملة . ان ما تريده الآن فعلا هو **اما** « الوجوه أولا ، والكتابات ثانيا » واما « الكتابات أولا ، والوجوه ثانيا » . واحتمال حدوث واحدة من التوليفتين هو $\frac{1}{4}$ أما احتمال حدوث أى منهما فهو $\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$ أى $\frac{1}{2}$. لذا اذا أردت « هذا وهذا وهذا .... » فأنت تضرب الاحتمالات المفردة لكل واحد منهم . أما اذا كنت تريد « هذا أو هذا أو هذا » فأنت تجمع الاحتمالات .

وفى الحالة الأولى تتزايد فرص الحصول على كل شىء تريده مع ازدياد عدد الأشياء المطلوبة . وفى الحالة الثانية عندما تريد شيئا من عدة أشياء تزيد فرص الوفاء بحاجتك مع زيادة قائمة الأشياء التى سيتم الاختيار منها .

ان تجارب رمى العملة توفر لنا مثالا جيدا لمعنى قولنا أن قوانين الاحتمالات تصبح أكثر دقة عندما يزيد عدد المحاولات . **ويضح هذا** فى شكل ٨٤ الذى يعبر عن احتمالات الحصول على عدد مختلف نسبيا من الوجوه والكتابات لكل رميتين ، أو ثلاث ، أو أربع أو عشر ، أو مائة . وهكذا ترى أنه مع زيادة عدد الرميات يصبح منحنى الاحتمال أكثر وأكثر انحناء وتصبح النهاية العظمى للتوزيع النصفى أكثر وضوحا .

لذا ففى حين أن عدد ٢ أو ٣ أو حتى ٤ مرات تكون فرص الحصول على الوجه أو الكتابة كل مرة كبيرة ، أما عند الرمى ١٠ مرات فان حتى الحصول على ٩٠ فى المائة وجوها أو كتابات يعتبر أمرا بعيدا . واذا ما زاد عدد الرميات عن ذلك ، لنقل ١٠٠ أو ١٠٠٠ رمية يصبح منحنى الاحتمال حادا جدا وكأنه ابرة وتصبح فرص الإنحراف البسيط فى هذا التوزيع النصفى عمليا ، صفر .

والآن لنستخدم قواعد الحساب البسيط ، التى تعلمناها لتونا فى حساب الاحتمالات النسبية للتباديل المختلفة التى يحصل عليها اللاعب فى خمسة أوراق فى لعبة البوكر الشهيرة ٠



(شكل رقم ٨٤)

العدد النسبي للوجوه والكتابات

واذا كنت لا تعرف فان كل لاعب فى هذه اللعبة يتعامل فى خمس أوراق ، ويحصل صاحب أقوى مجموعة على البنك ٠ وسوف نهمل فى هذا المثال التعقيدات التى تنشأ عن امكانية استبدال بعض أوراقك على أمل الحصول على خير منها ، وكذا الاستراتيجية النفسية فى خداع الخصوم باقناعهم بالتسليم عن طريق ايهامهم بأنك تحمل مجموعة من الأوراق أقوى مما تحمله فعلا ٠ وعلى الرغم من أن الخداع هو محور هذه اللعبة عمليا حتى أنه قد أدى بالعالم الدنماركى الطبيعى « نيلز بوهر » الى اقتراح لعبة جديدة تماما لا تستعمل فيها أوراق ، ويقـــوم اللاعبـــون بخداع بعضهم ببساطة عن طريق الحديث عن المجموعات الوهمية التى معهم ، وهذا يخرج تماما عن نطاق حساب الاحتمالات ويعتمد على علم النفس البحت ٠

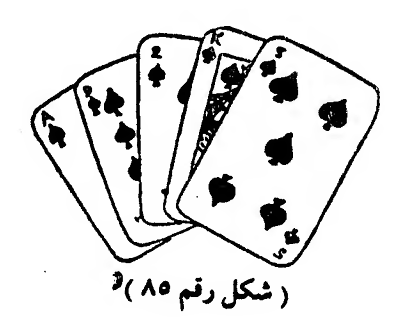
وحتى تحصل على بعض التدريب فى حساب الاحتمالات ، دعنا نقوم بحساب الاحتمالات لبعض مجموعات لعبة البوكر ٠ ومن هذه المجموعات مجموعة تسمى « الفلوش » وتكون الأوراق الخمس فيها من نفس النوع (شكل ٨٥) ٠

فاذا أردت أن تحصل على « فلوش » لا يهم أول ورقة تحصل عليها وعلى الفرد أن يحصى فقط فرص الحصول على أربع أوراق من نفس النوع

وتحتوى الكوتشينة على ٥٢ ورقة كل ١٣ ورقة من نفس الشكل وهكذا بعد الحصول على أول ورقة يبقى فى المجموعة ١٢ ورقة من نفس نوعها ·

ولذا يكون احتمال الحصول على ورقة ثانية من نفس الشكل $\frac{١٢}{٥١}$

وهكذا تكون فرص الحصول على ورقة ثالثة ورابعة وخامسة من نفس الشكل $\frac{١١}{٥٠}$ ؛ $\frac{١٠}{٤٩}$ ، $\frac{٩}{٤٨}$ · وحيث انك تريد خمس ورقات كلها من نفس الشكل ينبغى أن تطبق قاعدة ضرب الاحتمالات ، حيث تجد أن احتمال الحصول على الفلوش :



(شكل رقم ٨٥)

$$\frac{١٢}{٥١} \times \frac{١١}{٥٠} \times \frac{١٠}{٤٩} \times \frac{٩}{٤٨} = \frac{١١٨٨٠}{٥٩٩٧٦٠٠}$$

أى حوالى ١ من ٥٠٠

ولكن عفوا لا تحسب أنك ستحصل حتما على فلوش بعد ٥٠٠ ورقة فربما تحصل على لا شىء ، أو قد تحصل على فلوشين · فليس هذا الا حساب (احتمالى) وربما يحدث أن تتلقى أكثر من ٥٠٠ دورة لعب دون اكمال المجموعة المطلوبة ، وعلى العكس من ذلك قد يجتمع فى يدك الفلوش من أول خمس أوراق · وقصارى ما يمكن لنظرية الاحتمالات أن تخبرك به هو أنك قد تحصل على فلوش بعد ٥٠٠ ورقة · وقد تعلم أيضا باتباع نفس طريقة الاحصاء أنك بلعب ٠٠٠ ٠٠٠ ٣٠ دورة ربما تحصل على ٥ آسات (بالجوكر) حوالى عشر مرات ·

ومن المجموعات الأخرى فى البوكر وان كانت أكثر ندرة وهى بالتالى أقوى ما يطلق عليه « فول » أو « فول هاند » · وهذه المجموعة تتكون من « زوج » ، و « ثلاث أوراق من نوع » (أى ورقتان بنفس القيمة وبشكلين مختلفين ، وثلاث ورقات من نفس القيمة بأشكال مختلفة ، فمثلا ورقتان رقم ٥ ، وثلاث ملكات كما فى (شكل ٨٦) فاذا أردت الحصول

على فول ، وكانت الورقتان اللتان حصلت عليهما أولا غير متشابهتين ، أصبح لزاما عليك أن تحصل على ورقتين من الثـــلاث ورقات الباقية متماشيتين مع احدى الورقتين الأوليين ، وأن تتماشى الورقة الأخيرة مع الورقة الأخرى . وحيث ان هناك ٦ ورقات يمكن أن تتماشى مع الأوراق التى حصلت عليها (اذا كان معك ملكة وخمسة فهنـــاك ثلاث ملكات أخريات ، وثلاث خمسات أخريات) فان احتمال أن تتمشى الورقة الثالثة مع المجموعة يصبح ٦ من ٥٠ أو $\frac{٦}{٥٠}$. أما فرصـــة أن تتمشى الورقة الرابعة مع المجموعة فهى $\frac{٥}{٤٩}$ حيث أن هناك فقط ٥ أوراق من ٤٩ ورقة باقية ، وفرصة الورقة الخامسة هى $\frac{٤}{٤٨}$. وفى هذه الحالة يكون احتمال القـــول :

$$\frac{٦}{٥٠} \times \frac{٥}{٤٩} \times \frac{٤}{٤٨} = \frac{١٢٠}{١١٧٦٠٠}$$

أى حوالى نصف احتمال الفلوش .



(شكل رقم ٨٦)

فلوش البستونى

وبنفس الشكل يمكن للمرء أن يحسب احتمالات المجموعات الأخرى مثل « خمس أوراق متسلسلة » ، ووضـــع فى الاعتبـــار كذلك التغيرات الاحتمالية التى تنجم عن ظهـــور الجوكر ، واحتمال اســـتبدال الأوراق الأصلية .

ومن هذه الحسابات نجد أن ترتيب قوة المجموعات المســتخدمة فى البوكر يتفق بالفعل مع ترتيبها الاحتمالى . ولا أدرى اذا كان هذا الترتيب قد اقترحه أحد علماء الرياضيات القدامى أم أنه قد وضع عن طريق تجارب ملايين اللاعبين من خلال مقامرتهم بالمال فى صالونات القمـــار الراقية والأوكار الصغيرة المظلمة المنتشرة فى أنحاء العالم . فاذا كان الاحتمال الأخير هو الواقع ، لابد أن نقر أن لدينا هنا دراسة احصائية جيدة جدا عن الاحتمالات النسبية للأحداث المركبة .

ومن الأمثلة الأخرى المثيرة . لحساب الاحتمالات ، هذا المثال الذى يتمخض عن جواب غير متوقع أبدا ، وهو مشكلة « أعياد الميلاد المتزامنة ». وحاول أن تتذكر ما اذا كنت قد دعيت يوما الى حفلتى عيد ميلاد مختلفتين فى يوم واحد . وربما قلت أن فرصة حدوث ذلك ضئيلة جدا ، حيث ان عدد أصدقائك الذين قد يدعونك الى عيد ميلادهم لا يزيد عن ٢٤ صديقا . وقد تكون أعياد ميلادهم فى أى يوم فى السنة (٣٦٥ أو ٣٦٦) . وهكذا مع تلك الأيام وهؤلاء الأصدقاء فبديهى أن فرص الاتفاق فى أعياد ميلادهم تكون ضئيلة جدا .

ولكن قد يصعب عليك أن تصدق أن حكمك خاطىء . فالحقيقة أن احتمال اتفاق صديقين من ٢٤ صديقا فى عيد ميلادهم يعتبر احتمالا كبيرا الى حد ما ، بل واتفاق أكثر من اثنين فى أعياد ميلادهم أيضا . والحقيقة أن احتمال حدوث ذلك أقوى من عدم احتماله .

وتستطيع التأكد من ذلك عن طريق اعداد قائمة من ٢٤ شخصا . أو بشكل أبسط ، عن طريق مقارنة تواريخ ميلاد ٢٤ شخصا ممن تجد أسماءهم بصورة عشوائية فى مجلدات أشهر الأعلام فى أمريكا "Who is who in America" . أو تستطيع التحقق من الاحتمالات باستخدام قواعد حساب الاحتمالات البسيطة التى خبرناها جيدا فى مشكلة القاء العملة والبوكر .

والآن افترض أننا نحاول حساب فرص اختلاف أعياد الميلاد فى مجموعة مكونة من ٢٤ شخصا . ولنسأل أول فرد فى المجموعة عن تاريخ ميلاده ، وسوف يكون بالطبع يوما من ال ٣٦٥ يوم والآن ما احتمال اختلاف عيد ميلاد ثانى شخص عن عيد ميلاد الأول ؟ وحيث ان الفرد الثانى ربما يكون قد ولد فى أى يوم من أيام السنة فان فرصة اتفاق ميلاده مع ميلاد الأول هى واحد من ٣٦٥ ، واحتمال اختلافه ٣٦٤ من ٣٦٥ (أى احتمال $\frac{٣٦٤}{٣٦٥}$) . وبالمثل تكون احتمالية اختلاف عيد ميلاد الثالث عن الشخصين الآخرين هى $\frac{٣٦٣}{٣٦٥}$ حيث تم استبعاد يومين من السنة . وتكون احتمالات عدم اتفاق بقية الأشخاص كالتالى $\frac{٣٦٢}{٣٦٥}$ ، $\frac{٣٦١}{٣٦٥}$ ، $\frac{٣٦٠}{٣٦٥}$ وهكذا حتى آخر فرد فى القائمة حيث تكون الاحتمالية

$$\frac{(٣٦٥ - ٢٣)}{٣٦٥} \quad \text{أو} \quad \frac{٣٤٢}{٣٦٥}$$

وحيث اننا نحاول معرفة احتمال تزامن أعياد الميلاد ينبغى أن نضرب كل الكسور السابقة فى بعضها ومن ثم نحصل على احتمال اختلاف أعياد ميلاد هؤلاء الأشخاص وقيمته :

$$\frac{٣٦٤}{٣٦٥} \times \frac{٣٦٣}{٣٦٥} \times \frac{٣٦٢}{٣٦٥} \cdots \times \frac{٣٤٢}{٣٦٥}$$

ويمكن للمرء أن يحصل على النتيجة فى دقائق معدودة باستخدام طرق رياضية صعبة المستوى (٥) ، فاذا كنت لا تعرفها يمكنك استخدام طريقة الضرب المباشر ، فهى لن تستغرق وقتا طويلا جدا • وستجد أن النتيجة هى ٤٦ر٠ وهذا يعنى أن احتمال عدم تزامن أعياد الميلاد أقل من النصف • أو بعبارة أخرى ، هناك ٤٦ فرصة من ١٠٠ لحدوث عدم توافق على الاطلاق فى أعياد ميلاد أصدقائك ، ٥٤ فرصة من ١٠٠ لحدوث تزامن فى أعياد ميلاد اثنين أو أكثر منهم • لذا فان كان لديك ٢٥ صديقا أو أكثر ولم يحدث أن دعيت الى عيدى ميلاد فى يوم واحد ، فبمقدورك أن تستنتج مع درجة كبيرة من احتمال صحة استنتاجك : أنه اما أن أصدقاءك لا يحتفلون بأعياد ميلادهم أو أنهم لا يدعونك اليها •

ان المثال السابق لأعياد الميلاد يعبر بصدق شـــديد عن أن حكم البديهة قد يجانبه الصواب تماما فيما يتعلق باحتمـــال وقوع الأحداث المركبة • فقد وجهت هذا السؤال الى عدد كبير من الناس ، بما فى ذلك عدد من العلماء البارزين وفى كل المرات ، الا مرة واحدة (٦) ، كانت الرهانات المعروضة على تتراوح نسبتها بين ٢ : ١ و ١٥ : ١ فى صالح عدم حدوث التزامن ، ولو أننى قبلت هذه الرهانات لكنت الآن من الأغنياء !

ونحن فى غنى عن اعادة القول بأننا لو حسبنا احتمالات الأحداث المختلفة وفقا لقواعد معطاة ، وتوصلنا الى أكثرها احتمالا فان هذا لا يعنى حتمية انطباق النتيجة ، مالم يكن عدد الاختبارات التى نجريها بالآلاف .. أو الملايين •• بل البلايين فهى أفضل ! •

فالنتائج المتوقعة لا تزيد عن كونها « محتملة » وليست « مؤكدة » على الاطلاق • ان ضعف قوانين الاحتمالات عند التعامل مع عدد صـــغير نسبيا من الاختبارات ، يحد على سبيل المثال من جدوى التحليل الاحصائى لفك الرموز والرسائل الشعرية المختلفة التى لا تتخطى عادة بضع عبارات قصيرة • والآن لننظر مثلا فى الحالة الشهيرة التى وصفها « ادجار آلان بو » (*) فى قصته المعروفة "The Gold Bug" • فقد تحـــدث عن

---

(٥) استعمل جدول اللوغاريتمات أو المسطرة الحاسبة ان استطعت ! •

(٦) لقد كان هذا الاستثناء ، بالطبع ، من نصيب رياضى مجرى (انظر بداية الفصل الأول من الكتاب) •

(*) صحفى وشاعر وكاتب قصة قصيرة أمريكى توفى عام ١٨٤٩ (المترجم) •

شخص يدعى مستر « لى جراند » عثر على جزء من مخطوطة مدفونة الى نصفها فى رمال شاطىء « ساوث كارولينا » المبتلة أثناء تجواله هناك ٠ وعند تعريض المخطوطة للحرارة المنبعثة من مدفأة كوخه ظهرت بها بعض الرموز الغامضة المكتوبة بالحبر ، والتى كانت مختفية بسبب برودة الوثيقة ثم احمرت وأصبحت مقروءة تماما بعد التسخين ٠ واحتوت المخطوطة على رسم جمجمة مما يوحى بأن كاتبها كان قرصانا ، وظهر بها أيضا رسم لكبش ، مما يجزم دون أى مجال للشك بأن كاتب المخطوطة هو كابتن « كيد » المشهور ، هذا بالاضافة الى عدة سطور من العلامات الطوبوغرافية التى تشير الى مكان كنز مخبوء (انظر شكل ۸۷) ٠

ونحن نسلم على مسئولية « ادجار آلان بو » بأن قراصـــنة القرن السابع عشر كانوا على دراية بمثل هذه الرموز الطوبوغرافية مثل الفاصلة المنقوطة ، وعلامة التنصيص ، وعلامات أخرى مثل ‡ ، † ، ¶

ولما كان مستر « لى جراند » فى حاجة الى النقود ، فقد جند كل طاقاته الذهنية فى محاولة لفك رموز هذه الرسالة الشفرية ، وفى النهاية نجح فى ذلك استنادا الى التكرار النســـبى لحروف معينة فى اللغـــة الانجليزية ٠ وقد اعتمد فى أسلوبه على الحقيقة التى مفـــادها أنك اذا حصرت عدد الحروف المختلفة فى أى نص انجليزى سواء كان سونيته (*) لشكسبير ، أو احدى قصص « ادجار والاس » الغامضة ، ســـتجد أن الحرف E هو أكثر الأحرف تكرارا ويليه بالترتيب
a, o, i. d. h, n, r, s, t, u, y, c, f,G,I,M,w.b

53‡‡†305))6*;4826)4‡.);806*;48†8¶60))85;1‡(;:‡
8†83(88)5†;46(;88*96*?;8)*‡(.485);5*†2:*‡(;49
56*2(5*–4)8¶8*;4069285);)6†8)4‡‡;1(‡9;480
81;8:8‡1;48†85;4)485†528806*81(‡9;48;
(88;4(‡?34;48)4‡;161;:188;‡?;

(شكل رقم ۸۷)

رسالة كابتن كيد

(★) السونيتة قصيدة مؤلفة من ١٤ بيتا (المترجم) ٠

وعن طريق حصر العلامات المختلفة الموجودة فى رسالة كابتن كيد وجد لى جرانت أن رقم "8" أكثر رموزها تكرارا فقال :

« آه ! هذا معناه أن رقم 8 يعنى فى الرسالة حرف E حسن لقد كان مصيبا فى هذا الأمر ، ولكن هذا كان **احتمالا قويا** وليس مؤكدا اطلاقا . والواقع لو أن مضمون الرسالة كان :

"You will find a lot of gold and coins in an iron box in woods two thousand yards south from an old hut on Bird Islands north tip" *

فانها كما ترى لن تحتوى ولو على حرف (e) واحد ! ولكن مستر « لى جراند » فضل استخدام قوانين الاحتمالات والتسليم بنتائجها .

وبعد نجاح مستر « لى جراند » فى الخطوة الأولى زادت ثقته ، وسار على نفس المنوال ، أى اختيار الحروف وفقا لاحتمال تكرارها بالترتيب

تكرر رقم 8 ٢٢ مرة	١	٢
٢٦ مرة ;	a	t
١٩ مرة 4	o	h
١٦ مرة ‡	i	o
١٦ مرة (	d	r
١٣ مرة *	h	n
١٢ مرة 5	n	a
١١ مرة 6	r	i
٨ مرة †	s	d
٨ مرة 1	t	
٦ مرة 0	u	
٥ مرة g	y	
٥ مرة 2	c	
٤ مرة i	f	
٤ مرة 3	g	g
٣ مرة ?	l	u
٢ مرة ¶	m	
١ مرة -	w	
١ مرة .	b	

(First row of columns ١ and ٢: e ↔ o)

(★) ستجد ذهبا والكثير من العملات فى صندوق حديدى فى الغابات على بعد الفى ياردة جنوب كوخ صغير على الطرف الشمالى لجزر الطير .

ونقدم لك فى الجدول الآتى الرموز التى اشتملت عليها رسالة كابتن كيد وفقا لتكرارها النسبى فى الاستخدام :

يحتوى العمود (١) على الحروف الأبجدية مرتبة وفقا للتكرار النسبى لها فى اللغة الانجليزية · ولذا فقد كان من المنطقى أن يفترض أن العلامات المدرجة فى العمود العريض هى شفرة للحروف الموجودة فى العمود (١) · على أن استخدام هذا الترتيب يؤدى بنا الى قراءة بداية رسالة كابتن كيد كما يلى : ngiisgunddrhaoe cr

فهل يفهم من ذلك أى شيء ؟! ·

وماذا بعد ؟ · هل كان القرصان القـــديم مولعا بالخداع حتى أنه استخدم كلمات تتضمن حروفا لا تتبع نفس قواعد الكلمات المستخدمة فى الانجليزية ؟ اطلاقا ، فالأمر ببساطة أن هذه الرسالة لم تكن طويلة بما يكفى لاتخاذها عينة احصائية لأكثر توزيعات الحروف احتمالا · ولو كان كابتن « كيد » خبأ كنزه فى مكان صعب ، بحيث تتطلب تعليمات الكشف عنه كتابة عدة صفحات ، أو حبذا لو كانت فى مجلد كامل ، لكانت فرصة مستر « لى جراند » أفضل فى حل اللغز تطبيقا لقواعد التكرار ·

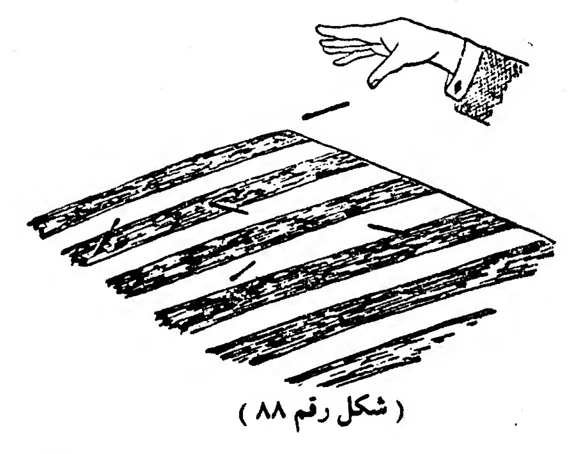
فأنت بالقاء عملة ١٠٠ مرة قد تثق فى وقوعها على الوجه ٥٠ مرة مثلا ، ولكن القـــاء العمـــلة ٤ مرات يجعلك عرضة للحصول على الوجه ٣ مرات ، والكتابة مرة واحدة أو العكس · وحتى نضع قاعدة لذلك القول يمكننا أن نقول انه كلما زاد عدد المحاولات كلما كانت فعالية قانون الاحتمالات أشد ·

وحيث ان أسلوب التحليل الاحصائى البسيط قد فشل لعدم كفاية عدد حروف الرسالة الشـــفرية ، فقد كان على مســـتر « لى جراند »

أن يلجأ الى استخدام تحليل يعتمد على بنية الكلمات فى اللغـــة الانجليزية بالتفصيل · وقبل أى شيء أكد « لى جراند » على الافتراض بأن أكثر العلامات تكرارا وهو (8) يقصد به الحرف (e) · اذ لاحظ أن التركيبة (88) قد تكررت كثيرا (٥ مرات) فى هذه الرسالة القصيرة نسبيا ، اذ أنه كما نعلم جميعا يتكرر الحرف فى كثير من الكلمـات الانجليزية كمـــا فى (meet, fleet speed, seen, been, agree) علاوة على أن (8) تعنى (e) اذ أنه من المنتظر أن تتـكرر كثيرا بوصفها جزءا من كلمة "The" · وبفحص هذا النص نجد أن التركيبة 48 قد تكررت سبع مرات فى سطور قصيرة ، ولو كان هذا صحيحا لوجب استنتاج أن ز تعنى t و 4 تعنى h ·

ونحن نحيل القارىء الى قصة « بو » الأصلية للتفاصيل بالنسبة للخطوات التالية فى فك رموز رسالة كابتن « كيد » وقد وجد أخيرا بعد فك الشفرة أن نص الرسالة كان « كأس جيد فى الحانة فى مقعد الشيطان ٠٠ ٤١ درجة وثلاث عشرة دقيقة الى الشمال الشرقى من جهة الشمال ٠ الفرع الرئيسى ، القسم السابع شرقا ، التصويب من عين الجمجمة اليسرى فى خط مستقيم من الشجرة حتى مسافة ٥٠ قدما للخارج » ٠

ويظهر المعنى المقصود للرموز المختلفة بعد أن « فك لى جراند » رموزها أخيرا فى العمود (٢) فى الجدول السابق ٠ وكما ترى أنها لا تتفق تماما مع التوزيع المتوقع على أساس قانون الاحتمالات ٠



(شكل رقم ٨٨)

والسبب فى ذلك عائد بالطبع الى قصر النص الذى يحول بالتالى دون توفير فرصة جيدة لنجاح قانون الاحتمالات ٠ ولكن حتى فى هذه « العينة الاحصائية » الصغيرة نستطيع أن نلاحظ ميل الحروف الى أن تترتب وفقا لنظام نظرية الاحتمالات ٠ وهو هذا النظام الذى يكاد يكون قاعدة مؤكدة اذا زاد عدد الحروف فى الرسالة ٠

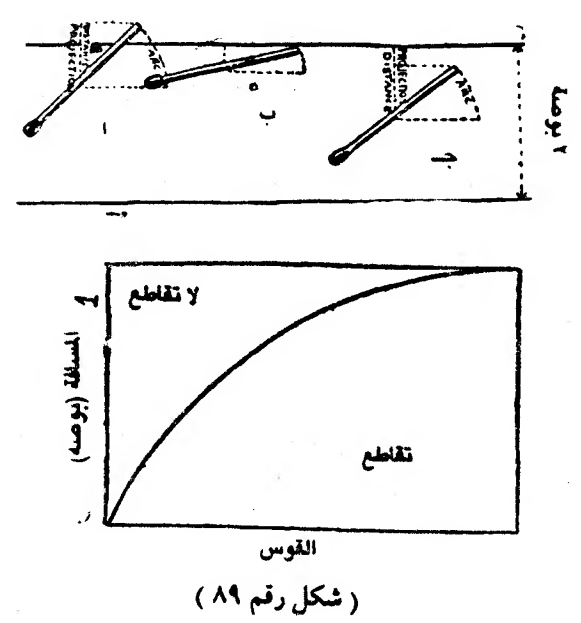
ويبدو أن هناك مثلا واحدا لا غير (مع استبعاد شركات التأمين التى لا تفلس) يتم فيه اختبار توقعات نظرية الاحتمالات عمليا من خلال عدد كبير من المحاولات ٠ وهى مشكلة العلم الأمريكى وعلبة الثقاب الشهيرة ٠

وحتى تحل هـذه المشـكلة الاحتمالية ، سوق نحتاج الى علم أمريكى ، أو الجزء منه الذى يحتوى على شرائط حمراء وبيضاء ٠

وان لم تجد تستطيع استخدام قطعة كبيرة من الورق بعد أن ترسم عليها عددا من الخطوط المتوازية والمتساوية فى البعد بينها ٠ ثم أحضر

علبة ثقاب من أى نوع بشرط أن يكون عود الثقـــاب أقصر من عرض الخطوط · وبعد ذلك نحتاج الى (Pi) وهى المقابل فى اليونانية لحرف (P) فى الانجليزية ، وتكتب هكذا π (*) وبالاضافة الى كونها حرفا يونانيا فهى ترمز الى النسبة بين محيط أى دائرة وقطرها وهى تساوى عدديا ان كنت لا تعلم ٣٫١٤١٥٩٢٦٥٣٥٠٠ (وهى أرقام عشرية أخرى معروفة ولكنا لن نحتاج اليها) ·

والآن أبسط العلم على مائدة ، وألق بعود ثقاب فى الهواء وراقبه حتى يسقط على العلم (شكل ٨٨) · وربما سقط داخل أحد الشرائط بكامله ، أو سقط متقاطعا مع الحد الفاصل بين شريطين متتاليين فما هى فرص حدوث أحد الأمرين ؟ ·



(شكل رقم ٨٩)

واعمالا لأسلوب التحقق من الاحتمـــالات الأخرى ، ينبغى أولا أن نحصر عدد احتمالات تحقيق كل منهما ·

ولكن كيف يمكن ذلك مع العلم بأن عود الثقاب يمكن أن يسقط على العلم فى عدد لا نهائى من الأوضاع ؟ ·

ولكن دعنا نتأمل السؤال بمزيد من الدقة · يمكن تمييز وضع عود الثقاب الساقط بالنسبة للخط الذى يقع عليه بالاستعانة بالمسافة بين

(*) يرمز اليها عندنا ب (ط) (المترجم)

منتصف العود وبين أقرب خط له ، بالاضافة الى الزاوية بين عود الثقاب والخط كما فى (شكل ٨٩) · وسنعطى ثلاثة أمثلة حقيقية لأعواد الثقاب الساقطة ، لنفترض أن طول عود الثقاب وعرض الشريط كل منهما يساوى ٢ بوصة للتبسيط · فاذا كان منتصف العود قريبا نسبيا من الخط والزاوية كبيرة الى حد ما (كما فى الحالة أ) فسيتقاطع العود مع الخط ، وبالعكس اذا كانت الزاوية صغيرة (كما فى ب) أو المسافة بعيدة (كما فى ج) فسوف يظل العود داخل الشريط · وأدق من ذلك أن نقول ان العود سيتقاطع مع الخط اذا كان اسقاط نقطة منتصف العود فى الاتجاه الرأسى أكبر من نصف عرض الشريط (الحالة أ أيضا) ، واذا حدث العكس فلن يحدث تقاطع (كما فى الحالة ب) · وفى الشكل السابق ترى ايضاحا بالرسم (أسفل الشكل) للجملة السابقة · وسوف نحدد زاوية سقوط العود على المحور الافقى (الاحداثى السينى) وفقا من طول القوس المقابل لنصف القطر (١ بوصة) · وعلى المحور الرأسى (الاحداثى الصادى) يتم تحديد طول اسقاط نصف عود الثقاب رأسيا ويعرف فى حساب المثلثات باسم جيب الزاوية المقابلة للقوس المعطى أو (جا) وواضح أن (جا) تساوى صفر اذا كان طول القوس المقابل للزاوية صفر · اذ أن عود الثقاب يكون فى هذه الحالة أفقيا · فاذا كان القوس $\frac{ط}{٢}$ أى أن الزاوية المقابلة له قائمة (٧) ، تكون (جا) مساوية للوحدة اذ أن العود يكون رأسيا ، وبالتالى ينطبق على اسقاطه ·

وبالنسبة للقيم المتوسطة للقوس يمكن معرفة (جا) من المنحنى الرياضى المتعرج المعروف باسم المنحنى الجيبى وفى شكل ٨٩ تجد ¼ موجة كامل فى الحيز بين صفر و $\frac{ط}{٢}$ ·

وبرسم هذا الشكل يمكننا أن نستخدمه بسهولة لتقدير فرص تقاطع عود الثقاب الساقط مع الخط · ولقد رأينا من قبل (راجع الأمثلة الثلاثة أعلى شكل ٨٩) أن العود يتقاطع مع الخط الخارجى للشريط عندما تكون المسافة بين منتصف العود وهذا الخط أقل من الاسقاط المقابل ، أى أقل من (جا) القوس · وهذا يعنى أننا عند تحديد المسافة والقوس فى الرسم نحصل على نقطة **أسفل** خط ال (جا) · وبالعكس سنجد أن العود الذى يقع بكامله داخل حدود الخط الذى يعطينا نقطة **أعلى** خط (جا) ·

---

(٧) محيط دائرة نصف قطرها (١) يساوى ط × ق (القطر) أى ٢ ط · وبالتالى يكون ربع المحيط مساويا $\frac{٢ ط}{٤}$ أو $\frac{ط}{٢}$

اذن فوفقا لقواعد حساب الاحتمالات ، ستكون فرص التقاطع متساوية فى نسبتها تماما مع فرص عدم التقاطع ، حيث تتساوى المساحة أسفل المنحنى مع المساحة أعلاه · ويمكن حساب احتمال كل حدث بقسمة مساحته على المساحة الكلية للمستطيل · ورياضيا تستطيع أن تثبت أن مساحة المنحنى الجيبى فى الرسم تساوى (١) تماما (راجع الفصل الثانى) · وبما أن مساحة المستطيل الكلية = $\frac{ط}{٢}$ × ١ = $\frac{ط}{٢}$ · اذن فاحتمال تقاطع العود مع حدود الشرائط (فى الأعواد التى يساوى طولها عرض الشريط) هو : $\frac{١}{ط \div ٢}$ = $\frac{٢}{ط}$

ومن المثير أن أول من لاحظ علاقة (ط) بهذه المشكلة هو العالم (كونت بوفن) فى القرن الثامن عشر ولذا عرفت هذه القضية الاحتمالية باسمه · ثم أتى من بعده رياضى مجتهد هو « لازيرينى » فأجرى التجربة عمليا باستخدام ٣٤٠٨ عود ولاحظ أن المتقاطع منها كان ٢١٦٩ عود · وترتب على ذلك التعويض عن (ط) بعد استخدام قانون بوفن بالقيمة $\frac{٣٤٠٨ \times ٢}{٢١٦٩}$ أو ٣ر١٤١٥٩٢٩ وهو ما لا يختلف عن القيمة الحسابية الدقيقة لها الا فى الرقم العشرى السابع !

ويعتبر هذا بالطبع دليلا عجيبا على صدق قوانين الاحتمالات ولكن الأعجب من ذلك الوصول الى رقم «٢» بالقاء عملة ملايين الملايين من المرات ، ثم قسمة عدد مرات الالقاء على عدد حالات ظهور الوجه : وفى هذه الحالة ستجد أن الناتج هو ٢ر٠٠٠٠٠٠ (*) وهذا يعطى نسبة خطأ ضئيلة تساوى مثيلتها فى تحديد (ط) على يدى « لازيرينى » ·

٤ ـ الانتروبيا الغامضة :

من الأمثلة السابقة على حساب الاحتمالات وكلها مأخوذة من الحياة اليومية ، عرفنا أن هذا النوع من التحديد المسبق غالبا ما يكون مخيبا للآمال عندما نستخدم عددا محدودا ، على أنه يصبح أفضل وأفضل عندما نتعرض لأعداد كبيرة فعلا · وتلك الخاصية تجعل هذه القوانين صالحة للتطبيق بوجه خاص على توصيف الأعداد التى لا تكاد تحصى من الذرات أو الجزيئات ، والتى قد لا تمثل الا أصغر الأجزاء من المواد التى نتعامل

(*) فالرقم مطابق حتى الخانة العشرية السادسة (المترجم) ·

معها • لذا ففى حين يمكن للقانون الاحصائى لمسار السكير أن يؤدى الى الحصول على نتائج تقريبية لا أكثر عند تطبيقه على نصف دستة من السكارى الذين ربما غير كل منهم اتجاهه ٢٤ مرة ، نجد أن تطبيق نفس القانون على البلايين من جزيئات الصبغة التى تمر ببلايين المصادمات كل ثانية يؤدى الى التوصل الى أدق قوانين الانتشار الطبيعية • ونستطيع أيضا أن نقول أن الصبغة التى أذيبت أصلا فى كمية ماء لا تملأ أكثر من نصف أنبوبة اختبار ، تميل من خلال عملية الانتشار الى أن تتوزع توزيعا متجانسا فى ملء هذه الانبوبة من الماء لأن ذلك التوزيع المتجانس **أقوى احتمالا** من التوزيع الأصلى •

ولنفس هذا السبب تماما تمتلىء الحجرة التى تجلس فيها وأنت تقرأ هذا الكتاب بالهواء فى توزيع متجانس من الجدار الى الجدار ، ومن الأرضية الى السقف ، ولا يمكن حتى أن يخطر ببالك أن هواء الحجرة يمكن له فجأة أن يتقوقع فى ركن بعيد تاركا اياك تختنق فى مقعدك •

ومع ذلك **فان هذا الحادث الرهيب ليس مستحيلا تماما من الناحية الفيزيقية بيد أنه بعيد الاحتمال الى حد كبير فقط** •

وحتى يتم ايضاح الأمر دعنا نتأمل فى حجرة مقسمة الى جزأين متساويين بواسطة حاجز رأسى وهمى ، ولنسأل أنفسنا عن أكثر التوزيعات احتمالا لجزيئات الهواء فى هذين النصفين • ان هذه المشكلة بالطبع شبيهة تماما بمشكلة القاء العملة التى تعرضنا لها فى الجزء السابق فاذا التقطنا جزيئا واحدا نجد أن فرصة وجوده فى النصف الأيمن تتساوى مع فرصة وجوده فى النصف الأيسر من الحجرة تماما ، تماما كما كان الأمر بالنسبة للعملة الملقاة على مائدة حيث تظهر وجها أو كتابة •

وسوف يكون للجزىء الثانى والثالث وباقى الجزيئات فرص متساوية للوجود فى أى من الجزيئين بغض النظر عن مكان باقى الجزيئات (٨) •

وهكذا نجد أن مشكلة توزيع الجزيئات بين نصفى الحجرة هى توأم لمشكلة عدد مرات ظهور الوجه والكتابة فى عدد كبير من الرميات ، وكما رأيت فى شكل (٨٤) يعتبر التوزيع النصفى فى هذه الحالة هو أقوى الاحتمالات حتى الآن • ونرى أيضا من هذا الشكل أنه بزيادة عدد الرميات (وهى تقابل عدد الجزيئات فى حالتنا هذه) يصبح احتمال الـ ٥٠٪ أكبر

(٨) الواقع أنه نتيجة للمسافات الواسعة بين الجزيئات المنفصلة للغاز فان الفضاء لا يكون مزدحما بها على الاطلاق ، كما أن وجود عدد كبير من الجزيئات فى حجم معين لا يمنع دخول جزيئات جديدة أبدا •

وأكبر حتى يتحول عمليا الى أمر مؤكد عندما يصبح الرقم هائلا ٠ وحيث ان الحجرة المتوسطة الحجم تحتوى على حوالى $١٠^{٢٧}$ جزىء (٩) فان احتمال تجمعها فرضا فى الجزء الأيمن مثلا من الحجرة يكون :

$$(\frac{١}{٢})^{١٠^{٢٧}} \quad \text{من} \quad ١٠^{-٣ \times ١٠^{٢٦}}$$

$$\text{أى ١ من} \quad ١٠^{٣ \times ١٠^{٢٦}}$$

ومن ناحية أخرى ، حيث ان جزىء الهواء الذى ينتقل بسرعة مقدارها حوالى ٥ر كم فى الثانية لا يحتاج الا الى ٠١ر من الثانية لينتقل من أحد طرفى الحجرة الى الطرف الآخر ، فسوف يتغير توزيع الهواء فى الحجرة ١٠٠ مرة فى الثانية ٠ وبالتالى فان الوقت اللازم لاجتماع الجزيئات فى النصف الأيمن يصبح :

$$١٠^{٢٩٩ر٩٩٩ر٩٩٩ر٩٩٩ر٩٩٩ر٩٩٩ر٩٩٩ر٩٩٩ر٩٩٨}$$

وقارن ذلك بالرقم $١٠^{١٧}$ث الذى يعبر عن العمر الكلى للكون ! لذا تستطيع أن تمضى فى مطالعة الكتاب بهدوء دون خوف من الاختناق بالصدفة ٠

وكمثال آخر دعنا نتأمل كوبا من الماء موضوعا على سطح منضدة ٠ ونحن نعلم أن جزيئات الماء التى تدخل فى الحركة الحرارية غير المنتظمة تتحرك بسرعة عالية فى كافة الاتجاهات الممكنة ، ولا يمنعها من التطاير بعيدا الا قوى التماسك فيما بينها ٠

ولما كان اتجاه حركة كل جزىء منفصل يخضع تماما لقانون الاحتمال ، نستطيع أن ندرس امكانية تحول اتجاه حركة نصف الجزيئات وبالتحديد النصف العلوى الى أعلى ، والجزيئات الموجودة فى النصف السفلى الى أسفل (١٠) ٠ فى هذه الحالة ستعجز قوى التماسك المؤثرة على امتداد السطح الأفقى الذى يقسم هاتين المجموعتين من الجزيئات عن مقاومة « **رغبتهما المشتركة فى الانفصال** » وسوف نشاهد عندئذ ظاهرة طبيعية غريبة عندما ينطلق النصف العلوى من الماء تلقائيا الى أعلى نحو السقف وبسرعة القذيفة ! ٠

وهناك امكانية أخرى ، وهى أن تتجمع الطاقة الكلية للحركة الحرارية لجزيئات الماء بالصدفة فى الجزيئات الواقعة فى الجزء العلوى من الكوب ، وفى هذه الحالة يتجمد الماء بالقرب من القاع بينما تغلى الطبقة العليا

---

(٩) الحجرة التى أبعادها ١٠ أقدام × ١٥ قدما × ٩ أقدام ارتفاع يكون حجمها ١٣٥٠ قدما مكعبا أو ٥×١٠^{٧} سم^{٣} ، وهى تحتوى على ٥×١٠^{٤} جم من الهواء ٠ وحيث ان الكتلة المتوسطة لجزيئات الهواء تكون $٣٠ \times ١ر٦٦ \times ١٠^{-٢٤} \cong ٥ \times ١٠^{-٢٣}$ جم ويكون العدد الكلى للجزيئات $٥ \times ١٠^{٤} \div ٥ \times ١٠^{-٢٣} = ١٠^{+٢٧}$ (العلامة $\cong$ تعنى مساو تقريبا ز) ٠

بشدة • فما السبب فى عدم حدوث ذلك أبدا ؟ • السبب ليس استحالة الحدوث ولكن ببساطة أن احتمال ذلك أمر غاية فى الضعف • والحق أنك لو حاولت حساب احتمال حدوث التوزيع السابق بالمصادفة البحتة لهذه الجزيئات الموزعة توزيعا عشوائيا ستصل الى رقم قريب جـدا من الرقم الذى وصلنا اليه عند حساب احتمال تجمع الهواء فى أحد أركان الحجرة . وبالمثل فان فرصة فقدان بعض الجزيئات لطاقتها الحركية نتيجة للصدام المتبادل بينما تحتفظ جزيئات أخرى بجزء كبير من طاقتها تعتبر ضئيلة لدرجة أنه يمكن اهمالها • ونقول ثانية ان توزيع اتجاهات الحركة بما يحقق الحالة المعتاد رؤيتها هو أقوى الاحتمالات •

والآن لو بدأنا بحالة لا تتفق مع أكثر التوزيعات احتمالا فى مواضع الجزيئات أو سرعاتها ، وذلك باطلاق غاز ما فى أحد الأركان أو صب بعض الماء الساخن فوق ماء بارد ، فسوف تحدث تغيرات فيزيقية وبناء عليه يتحول هذا النظام من الأقل احتمالا الى الأكثر احتمالا • وسوف ينتشر الغاز فى أنحاء الحجرة حتى يملأها بشكل متجانس ، وتنساب الحرارة الحار من قمة الكوب الى القاع حتى يكتسب الماء درجة حرارة موحدة • لذا نستطيع أن نقول ان **"كافة العمليات الفيزيائية التى تعتمد على الحركة غير المنتظمة للجزيئات تميل للحدوث باحتمالات متزايدة ، "كما أن حالة التوازن حين لا يحدث شيء جديد هى المقابل للحد الأقصى من الاحتمال** • وحيث ان احتمال حدوث التوزيعات المختلفة للجزيئات يعبر عنه فى الغالب بأرقام ضئيلة جدا كما رأينا فى مثال هواء الحجرة (مثل : $10^{-3 \times 10^{26}}$ لتجمع الهواء فى نصف الحجرة) فانه من المتعارف اللجوء الى لوغاريتماتها بدلا من ذلك • ويطلق على هذا المقدار اسم « الانتروبيا » وهى تلعب دورا بارزا فى جميع المسائل الخاصة بالحركة العشوائية للمادة • ونستطيع الآن كتابة هذه الجملة الخاصة بتغير الاحتمال فى العمليات الفيزيائية كما يلى :

ان أى تغير تلقائى فى نظام طبيعى يتم فى اتجاه زيادة قيمة الانتروبيا وحالة التوازن النهائى يناظر أقصى قيمة ممكنة لها •

وهذا هو **قانون الانتروبيا** الشهير ، والمعروف أيضا باعتباره القانون الثانى فى الديناميات الحرارية (باعتبار أن القانون الأول هو قانون ثبوت الطاقة) وهكذا كما ترى ليس هناك ما تخشاه ويمكن أيضا أن يطلق على قانون الانتروبيا **قانون الفوضى المتزايدة** حيث قد رأينا فى جميع الأمثلة السابقة أن الانتروبيا تصل الى أقصى قيمة لها عندما تكون مواقع الجزيئات وحركتها موزعة بشكل عشوائى تماما ، بحيث تكون أى محاولة لاحداث نوع من التنظيم فيها هى بمثابة محاولة لخفض قيمة

الانتروبيا • ولا تزال هناك صيغة أخرى لقانون الانتروبيا وهى عملية أكثر ويمكن الحصول عليها بالنظر فى موضوع تحويل الحرارة الى حركة ميكانيكية . فاذا تذكرنا أن الحرارة هى بالفعل الحركة الميكانيكية غير المنتظمة للجزيئات يصبح من السهل علينا أن ندرك أن التحول الكامل للمحتوى الحرارى لأى جسم مادى الى طاقة ميكانيكية ذات حركة واسعة النطاق ، هو المقابل لمهمة قسر كافة جزيئات هذا الجسم على التحرك فى نفس الاتجاه. ومع ذلك ، ففى مثال الكوب الذى يقذف بنصف محتواه من المادة تلقائيا فى اتجاه السقف ، رأينا أن هذه الظاهرة غير محتملة الوقوع الى حد يجعلنا ننظر اليها باعتبارها مستحيلة عمليا • **لذا فعلى الرغم من أن طاقة الحركة الميكانيكية يمكن أن تتحول عن آخرها الى حرارة (عن طريق الاحتكاك مثلا) فان الطاقة الحرارية لا يمكن أبدا أن تتحول بالكامل الى حركة ميكانيكية** • وهذا الأمر يقنن امكانية عمل « موتور الحركة المنتظمة من النوع الثانى » (١١) والذى ينتزع الحرارة من الأجسام المادية عند درجات الحرارة العادية ، ومن ثم يخفض من درجاتها ويستخدم الطاقة الناتجة فى توليد حركة ميكانيكية • ومن المستحيل مثلا أن نصنع سفينة بخارية يتولد البخار فى غلايتها ليس عن احتراق الفحم ولكن نتيجة انتزاع الحرارة من ماء المحيط ، الذى يضخ أولا الى غرفة المحركات ثم يلقى ثانية الى سطح السفينة على شكل مكعبات من الثلج بعد فقدانه للحرارة ولكن كيف اذن يمكن للمحرك البخارى العادى أن يحول الحرارة الى حركة دون أن يكسر قانون الانتروبيا ؟ لقد أمكن تذليل هذه العقبة بواسطة الحقيقة التى مؤداها أنه فى المحرك البخارى **لا تشكل الحرارة المتحولة الى حركة الا جزءا فحسب من الطاقة الحرارية المنطلقة بالفعل من احتراق الوقود** • وهناك جزء آخر أكبر من ذلك الجزء يتصاعد فى الهواء على شكل بخار ، أو تمتصه مبردات حرارة معدة لذلك خصيصا وفى هذه الحالة يكون لدينا تغيران عكسيان للانتروبيا فى نظامنا وهما :

١ ـ نقص الانتروبيا المقابل لتحويل جزء من الحرارة الى طاقة ميكانيكية عن طريق المكابس (البساتم) •

٢ ـ زيادة الانتروبيا الناشئة عن تدفق جزء آخر من الحرارة من غلايات الماء الساخنة الى المبردات • ويقضى قانون الانتروبيا بزيادة **القيمة الكلية لانتروبيا** النظام فحسب ، ويمكن بسهولة ترتيب ذلك عن طريق زيادة العنصر الثانى عن العنصر الأول • وربما أمكن فهم الوضع بصورة أفضل الى حد ما عن طريق التأمل فى مثال وضع ثقل وزنه ٥ رطل على

---

(١١) وقد سمى بذلك لتمييزه عن « موتور الحركة المنتظمة من النوع الأول » والذى يخالف قانون ثبوت الطاقة حيث يعمل دون امداده بالطاقة •

رف مرتفع عن الأرض بمقدار ٦ أقدام · ووفقا لقانون بقاء الطاقة يستحيل تماما ارتفاع هذا الثقل فى اتجاه السقف تلقـــائيا ودون أى مساعدة خارجية · ومن ناحية أخرى يمكن اسقاط جزء من هذا الثقل على الأرض واستخدام الطاقة المنطلقة بهذه الطريقة فى رفع جزء آخر ·

ويمكننا بطريقة مشابهة أن نقلل الانتروبيا فى أحد أجزاء نظامنا ، اذا حدثت زيادة تعويضية فيها فى الجزء الآخر ·

وبعبارة أخرى **يمكن بالنسبة للحركة غير المنتظمة للجزيئات أن نحدث شيئا من الانتظام فى احدى المناطق ، وذلك اذا لم يكن لدينا مانع من زيادة الفوضى فى مناطق أخرى** · وفى الكثير من الحالات العملية نجد أنه لا مانع لدينا من حدوث ذلك ، كما فى كافة أنواع المحركات الحرارية ·

٥ ـ التقلب الاحصائى :

لا شك أن المناقشات التى تمت فى الجزء السابق قد أوضحت لك أن قانون الانتروبيا وما يترتب عليه من نتائج يعتمد كلية على الحقيقة التى مفادها أنه فى الفيزياء واسعة النطاق نحن نتعامل دائما مع عدد هائل جدا من الجزيئات المنفصلة ، لذا فان أى تنبؤ مبنى على اعتبارات احتمالية يكاد يكون حقيقة مطلقة · على أن هذا التنبؤ يصبح أقل تأكيدا عنـــدما نتعرض لكميات صغيرة من المادة ·

لذا فاذا أخذنا حجما صغيرا من الغاز كمثال بدلا من الحجرة الممتلئة بالهواء كما فى مثالنا السابق ، ولنقل مثلا أننا سنعرض لدراسة مكعب حجمه $\frac{1}{1000}$ من الميكرون (١٢) ، نجد أن الوضع يختلف تماما · حيث ان حجم المكعب يساوى 10^{-18} سم^3 فسوف يحتوى فقط على $\frac{10^{-18} \times 10^{-3}}{3 \times 10^{-23}}$ = ٣٠ جزيئا ، ويكون احتمال تجمعها فى نصف الحجم الكلى هو $(1/2)^{30} = 10^{-10}$

ومن ناحية أخرى نجد أن الجزيئات يعاد ترتيبها بمعدل 5×10^{9} مرة/ث (السرعة ٥ر كم/ث والمسافة لا تزيد عن 10^{-6} سم) ويرجع هذا المعدل الى شدة ضآلة الحجم ، ولذا سنجد فى كل ثانية تقريبا أن أحد نصفى المكعب خال · وبديهى أنه فى الحالات التى يستقر فيها عدد معين من الجزيئات فى أحد نصفى المكعب حالات شائعة الحدوث · لذا فعلى

---

(١٢) يرمز للميكرون عادة بالحرف الاغريقى μ (ميو) وهو يساوى ٠٠٠١ر سم ·

سبيل المثال سوف تحدث الحالة التى تتوزع فيها **الجزيئات بحيث يتجمع** ٢٠ **جزيئا فى أحد الأركان و ١٠ جزيئات فى الركن المقابل (أى بزيادة** ١٠ جزيئـــات فى ركن عن الآخر) بمعـــدل $(\frac{١}{٢})^{١٠} \times ٥ \times ١٠^{١٠} =$ $١٠^{-٣} \times ٥ \times ١٠^{١٠} = ٥ \times ١٠^{٧}$ ، أى ٥٠ مليون مرة فى الثانية ٠

لذا فان توزيع الجزيئات فى الجو يكون فى النطاق الضيق بعيدا عن التجانس ٠ واذا استطعنا أن نوسع من خيالنا بقدر كاف سوف نلاحظ أن التجمع الضغير للجزيئات والذى يتم تلقائيا فى مواضع مختلفة من الغاز سوف يتلاشى ثانية ويحل محله تجمع آخر مماثل فى نقاط آخر ٠ ويعرف هذا التأثير **بتقلب الكثافة** ويلعب دورا هاما فى كثير من الظواهر الفلكية ٠ وعلى سبيل المثال عندما تمر أشعة الشمس عبر الهواء الجوى ، يؤدى عدم التجانس الى تبعثر الأشعة الزرقاء للطيف مما يعطى الســماء لونها المألوف ويجعل الشمس تبدو أكثر احمرارا من حقيقتهـــا ٠ وهذا التأثير (زيادة الاحمرار) يبدو أكثر وضوحا عند الغروب حينما يكون على أشعة الشمس أن تخترق طبقات أكثر سمكا من الهواء ٠ ولولا هذه التقلبات فى الكثافة لبدت السماء سوداء قاتمة ولأمكننا أن نرى النجوم فى (عز الظهر) ٠

وشبيه بذلك وان كان أقل وضوحا ، ظاهرة تقلب الكثافة والضغط التى تحدث فى السوائل العادية ، ويمكن وصف سبب الحركة البراونية بشكل آخر عندما نقول أن الجسيمات المعلقة فى الماء تدفع ذهابا وايابا نتيجة للتغيرات السريعة فى الضغط الواقع على جانبيه ٠ وعندما يسخن السائل حتى يقترب من نقطة الغليان تصبح ظاهرة التقلب فى الكثافة أكثر وضوحا وتؤدى الى ظهور قدر من اللمعان ٠

ونستطيع الآن أن نسأل أنفسنا عما اذا كان قانون الانتروبيا ينطبق أيضا على الأجسام الصغيرة مثل هذه الأجسام التى تصــــبح التقلبات الاحصائية فيها ذات أهمية قصوى ٠ ولا شك أن البكتيريا التى تقضى حياتها تتقلب تحت التأثير الجزيئى سوف تسخر من جملة تقول ان الحرارة لا يمكن أن تتحول الى طاقة ميكانيكية ! ولكن الأصوب فى مثل هذه الحالة أن نقول ان قانون الانتروبيا يفقد مدلوله بدلا من أن نقول انه يتحطم ٠ والحق أن قصارى ما يذهب اليه هذا القانون هو أن الحركة الجزيئية لا يمكن أن تتحول الى حركة بالكامل بالنسبة للأجسام التى تحتوى على عدد هائل من الجزيئات المنفصلة ٠ وبالنسبة للخلية البكتيرية التى **لا تزيد** فى الحجم كثيرا عن الجزىء ــ يختفى الفارق بين الحركة الحرارية والميكانيـــكية فى الواقع العملى ، ويمكن تشبيه المصادمات الجزيئية التى تقلب البكتريا فى جميع الأنحاء تماما بالركلات التى تصيبنا من اخواننا المواطنين فى مظاهرة

صاخبة • ولو كنا بكتيريا لاستطعنا تصميم محرك حركة منتظمة من النوع الثانى عن طريق مجرد ربط أنفسنا بعجلة حرة ، ولكننا فى هذه الحالة سنفتقر الى العقل سر هذا التقدم • وهكذا لا يوجد ما يبرر الحزن الذى قد نشعر به لأننا لسنا بكتيريا !

ومن التناقضات التى تظهر لقانون تزايد الانتروبيا ذلك التناقض المتمثل فى الأنظمة العضوية • والواقع أن النبات النامى يحصـــل على جزيئات بسيطة من ثانى اكسيد الكربون (من الهـــواء) والماء (من الأرض) ويؤلف بينهما فى صورة جزيئات عضوية معقدة هى التى تكون جسم النبات • وينطوى التحول من جزيئات بسيطة الى أخرى معقدة على نقص الانتروبيا ، والواقع أن العملية العادية التى تزيد فيها الانتروبيا فعلا هى احتراق الخشب ، وتحلل جزيئاته الى ثانى اكسيد الكربون ، وبخار الماء • هل تخالف النباتات حقا قانون تزايد الانتروبيا بالاستعانة فى نموها بشىء غامض هو اكسير الحياة (*) (القوة الحيوية) الذى طالما دافع عن وجوده الفلاسفة القدماء ؟ •

ان تحليل هذا السؤال يوحى بعدم وجود تناقض ، اذ أن النبات يحتاج فى نموه بالاضافة الى الماء وثانى اكسيد الكربون الى الكثير من ضوء الشمس • وفيما عدا الطاقة التى تختزن فى مادة النبات النامى وقد تتحرر مرة أخرى عند احتراق النبات فان أشعة الشمس تحمل ما يطلق عليه « الانتروبيا السالبة » (انتروبيا منخفضة المستوى) والتى تختفى عند امتصاص الأوراق الخضراء للضوء وهكذا فان عملية التمثيل الضوئى التى تتم فى أوراق النباتات تنطوى على عمليتين وثيقتى الصلة وهما :

(أ) تحول الطاقة الضوئية لأشعة الشمس الى طاقة كيميائية ذات تركيب عضوى معقد •

(ب) استخدام الانتروبيا منخفضة المستوى في أشعة الشمس لخفض الانتروبيا المصاحبة لتحويل الجزيئات البسيطة الى جزيئات معقدة • وبلغة « النظام مقابل الفوضى » يستطيع المرء أن يقول انه عند امتصاص الأوراق الخضراء لأشعة الشمس فان الأشعة تسلب نظامها الداخلى الذى مكنها من الوصول الى الأرض ، ويتصل هذا النظام بالجزيئات فيســـمح لها ببناء جزيئات أكثر تعقيدا ، وأكثر نظاما وترتيبا • وفى حين أن النباتات تبنى أجسامها من مركبات غير عضوية ، وتحصـــل على الانتروبيا الســالبة (النظام) من أشعة الشمس ، نجد أن الحيوانات يجب أن تتغـــذى على النباتات (أو تتغذى ببعضـها البعض) للحصول على هـــذه الانتروبيا السالبة فتصبح ، اذا جاز لنا القول ، كمن يحصل على سلعة مستعملة •

(*) Vis Vitalis.

الفصل التاسع

لغز الحياة

١ ـ نحن نتكون من خلايا :

عند مناقشتنا لبنية المادة تجاهلنا حتى الآن الاشارة ولو من بعيد الى مجموعة صغيرة نسبيا الا أنها غاية فى الأهمية ، وهى الأجسام المادية التى تختلف عن كافة الأجسام الأخرى فى الكون من حيث أنها أجسام **حية** • فما الذى يجسد الفارق الهام بين المادة الحية وغير الحية ؟ • وما مدى معقوليـة الأمل الذى يحـدونا فى فهم ظاهرة الحيـاة باستخدام القوانين الفيزيقية التى نجحت فى تفسير خواص المادة غير الحية ؟ •

وعندما نتحدث عن ظاهرة الحياة فان ما يخطر ببالنا عادة لا يخرج عن مجموعة كبيرة نسبيا من النظم الحية المعقدة مثل الشجرة ، والحصان ، والانسان • ولكن محاولة دراسة الخواص الأساسية للمادة الحية عن طريق البحث فى مثل هذه النظم المعقدة ككل سوف يكون أمرا عقيما ، تماما مثل العمل على دراسة بنية المواد غير العضوية بالنظر الى بناء كلى معقد مثل السيارة •

والعقبات التى تواجهنا فى هذا الأمر تظهر لنا حين ندرك أن السيارة الكاملة مكونة من آلاف الأجزاء ذات الأشكال المختلفة والمصنوعة من مواد مختلفة ، وفى حالات فيزيقية أيضا مختلفة • فالبعض منها (مثل الهيكل الصلب ، والأسلاك النحاسية ، والزجاج) يكون فى حالة صلبة ، والبعض الآخر (مثل الماء فى المشع الحرارى (الرادياتير) ، والوقود فى الخزان ،

واسطوانة الزيت) يكون سائلا ، والبعض (مثل الخليط الذى يغذى الاسطوانة ويأتى من المكربن (الكربوريتور) يكون غازيا · ان أول خطوة اذن فى تحليل مادة معقدة كتلك التى فى السيارة فى تحليلها الى مكونات منفصلة فى حالات فيزيائية متجانسة · وهكذا نجد أنها تتكون من مواد معدنية شتى (كالصلب ، والنحاس ، والكروم ··· الخ) وعناصر زجاجية مختلفة (كالزجاج ، والبلاستيك) وسوائل متجانسة مختلفة (كالماء والجازولين) ·· الخ ·· الخ ·

وبعد ذلك نستطيع أن نبدأ العمل فنجد باستخدام طرق الاختبار الفيزيائية المتاحة أن الأجزاء النحاسية تتكون من بلورات صغيرة متشابهة ، وبلورة النحاس تتركب من طبقات منتظمة مرتبة بحيث تعتمد على بعضها البعض ، وأن الماء فى مشع الحرارة يتكون من عدد كبير من جزيئات الماء المتباعدة نسبيا والتى قوامها ذرة هيدروجين وذرتى اكسجين لكل منها ، وأن خليط المكربن الذى يتصاعد عبر الصمامات الى الاسطوانات (السلندرات) يتكون من حشد من الجزيئات الحرة لأكسجين الهواء الجوى وجزيئات النيتروجين المختلطة بجزيئات من بخار الجازولين والتى تكون بدورها مكونة من ذرات الكربون والهيدروجين ·

وبالمثل يجب عند تحليل نظام حى معقد مثل جسم الانسان أن نحلله الى أعضاء منفصلة ، مثل المخ ، والقلب ، والمعدة ثم الى **المواد البيولوجية** المتجانسة وتسمى « الأنسجة » ·

والأنواع المختلفة من الأنسجة هى المادة التى تتكون منها النظم الحية ، وهذا يشبه أجزاء الآلات التى يكون كل جزء فيها متجانسا وقد يختلف عن الآخر ويعتبر علما التشريح والفسيولوجى (*) ـ وهما المعنيان بتحليل وظائف النظم الحية من حيث خواص **الأنسجة** المختلفة ـ شبيهين فى هذا السياق بعلم الهندسة الذى يعتمد على الخواص الميكانيكية والمغناطيسية والكهربية بالاضافة الى التصميم فى بناء الأجزاء المختلفة العمل فى الآلة ·

ولذا فان الاجابة على لغز الحياة لا يمكن التوصل اليها بمجرد النظر فى كيفية تراص هذه الأنسجة فى نظم معقدة ، ولكن بالنظر فى طريقة بناء هذه الأنسجة من الذرات كل على حدة ، بحيث ينشأ عنها فى النهاية أنواع شتى من الحياة ·

(*) علم وظائف الأعضاء

ومن الخطأ الجسيم أن نعتقد أن النسيج البيولوجي المتجانس الحي يمكن مقارنته بالمواد الفيزيقية العادية والمتجانسة . والواقع أن التحليل الميكروسكوبي الأولي لأى نسيج يتم اختياره عشوائيا (سواء كان من الجلد أو العضلات أو المخ) يشير الى أنه يتكون من عدد كبير من الوحدات المفردة التي تحدد طبيعتها الى حد كبير خواص النسيج بأكمله (شكل ٩). وتعرف هذه الوحدات البنائية الأولية فى المادة الحية عادة باسم « الخلايا » ويمكن أيضا أن يطلق عليها « الذرات البيولوجية » (أى « غير المرئية ») بمعنى أن الخواص البيولوجية لأى نوع من الأنسجة لا تتغير مادام محتويا على خلية واحدة على الأقل .

فالنسيج العضلي الذي يختزل الى نصف خلية مثلا يفقد كافة خواص العضلة من انقباض وغير ذلك ، تماما كما هو الحال فى قطعة من سلك ماغنسيوم تختزل الى نصف ذرة فتفقد انتسابها الى هذا المعدن وتصبح مجرد قطعة غير مرئية من الفحم (١) !! ان الخلايا المكونة للأنسجة تعتبر صغيرة نوعا ما (متوسط طول القطاع العرضي فيها يساوي $\frac{١}{١٠٠}$ (٢) ملليمتر) . ويتركب أى نوع من النباتات المعروفة من عـــدد هائل من الخلايا المنفصلة .

أما جسم الانسان البـــالغ فيحتوى على مئـــات الآلاف من بلايين الخلايا .

أما النظم الأصغر حجما فتتكون بالطبع من عدد أقل من الخلايا ، فالذبابة المنزلية مثلا أو النملة تحتوى على عدد لا يزيد على بضــعة مئات من ملايين الخلايا . وهناك أيضا مجموعة كبيرة من النظم **وحيدة الخلية** ، **فطر الأميبا** (ومنه الأميبا التى تؤدى الى الاصـــابة بمرض « القـــوباء الحلقية ») ، وكذا العديد من أنواع البكتيريا وحيدة الخلية التى تتعذر

---

(١) بالرجوع الى موضوع بنية الذرة تجد أن ذرة الماغنسيوم (الرقم الذرى ١٢ ، والوزن الذرى ٢٤) تتركب من نواة تحتوى على ١٢ بروتون و ١٢ نيوترون ويحيط بها غلاف يحتوى على ١٢ الكترون . وبقسمة هذه الأرقام على ٢ نحصل على ذرتين جديدتين تحتوى كل منهما على ٦ بروتونات نووية ، ٦ نيوترونات ، ٦ الكترونات خارجية أو بعبارة أخرى نحصل على ذرتى كربون .

(٢) أحيانا تصل خلايا معينة الى أحجام عملاقة مثل صفار البيض الذى يعتبر خلية واحدة . ورغم ذلك فان الجزء الحى فيها وهو المسئول عن حياتها لا يتعدى حجمه الميكروسكوبى، حيث أن الكتلة الضخمة من المادة الصفراء ما هى الا الطعام المتراكم الذى يساعد على نمو فرخ الدجاج .

رؤيتها دون استخدام ميكروسكوب قوى • وتعتبر دراسة هذا النوع من الخلايا الحية التى لا تتأثر بأى « وظائف اجتماعية » قد تفرض عليها لولا أنها ليست جزءا فى أى نظام معقد ـ من أكثر فصول البيولوجيا اثارة •

وحتى يتسنى لنا فهم مشكلة الحياة بوجه عام ، ينبغى علينـــا أن نبحث عن الحل فى بنية الخلايا الحية وخواصها •

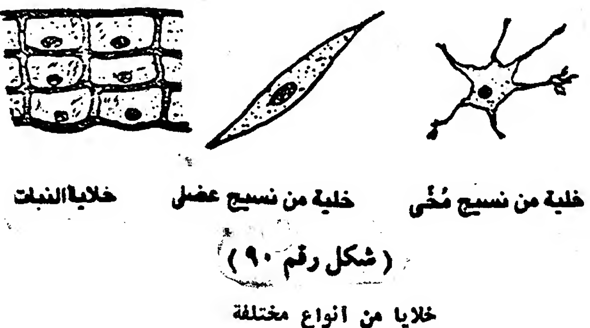
وما هى الخواص التى تميز الخلايا الحيـــــة عن المواد غير العضوية العادية ، أو عن المادة الموجودة فى الخلايا الميتة مثلا خلايا خشب المكتب أو جلد الحذاء ؟ •

ان الخواص الأساسية المميزة للخلية الحية تكمن فى قدراتها على :

١ ـ الحصول على المواد الضرورية لبنائها من الوسط المحيط بها •

٢ ـ تحويل هذه المواد الى عناصر تستخدم فى نمو أجسامها •

٣ ـ انقسامها الى خلايا متماثلة كل خلية منها تساوى فى الحجم نصف الخلية الأصلية (وقادرة على النمو) عندما تصبح أبعادها الهندسية أكبر من اللازم • وهذه القدرات « الأكل » و « النمـــو » و « التكاثر » تعتبر بالطبع صفات شائعة فى كافة النظم الأكثر تعقيـــدا والمكونة من خلايا متجاورة •



(شكل رقم ٩٠)

خلايا من انواع مختلفة

وربما اعترض أحد القراء من ذوى العقول الناقدة بقوله ان هـــذه الثلاث الخواص يمكن أن توجد كذلك فى المواد غير العضـــوية العـــادية • فمثلا اذا أسقطنا بلورة ملح صغيرة فى محلول ملحى مائى فوق مشبع (٣)

---

(٣) يمكن اعداد محلول فوق مشبع باذابة كمية كبيرة من الملح فى ماء ساخن ثم تبريده الى درجة حرارة الغرفة ، وحيث أن قابليـــــة الذوبان فى الماء تتناقص بانخفاض درجـة الحرارة فان جزيئات الملح الموجودة فى المـــاء ستزيد عن قدرة المـــاء على الاحتفـــاظ بها فى المحلول • ومع ذلك فان جزيئات الملح الزائد سوف تبقى فى المحلول لمدة طويلة جدا مالم نضع بلورة صغيرة يمكن اذا صح التعبير أن تعطى النبضة الأولى وتعمل باعتبارها نوعا من العامل المنظم لخروج جزيئات الملح من المحلول •

سوف تنمو باضافة طبقات متتالية من جزيئات الملح المنتزعة (أو بالأحرى « المطرودة ») من الماء · بل نستطيع أن نتخيل أن هذه البلورات سوف تنقسم الى جزئين بعد الوصول الى حجم معين نتيجة لتعرضـــها لتأثير ميكانيكى معين مثل زيادة وزن البلورة المتنامية ، وأن « البلور الوليد » الناتج من ذلك سوف يستمر فى النمو · فلم لا توصف هذه العملية أيضا بأنها « ظاهرة حية » ؟ ·

وللاجابة على هذا السؤال وغيره من الأسئلة الشبيهة به لابد أولا من القول بأن اعتبار الحياة مجرد صورة أكثر تعقيدا من صور الظواهر الطبيعية والكيميائية العادية يجعلنا مهيئين لعدم وجود خط فاصل ومحدد بين الأمرين · وبالمثل فان استخدام القوانين الاحصائية فى وصف سلوك الغاز المكون من عدد هائل من الجزيئات (انظر الفصل الثامن) يجعلنا عاجزين عن تحديد مدى صلاحيته ·

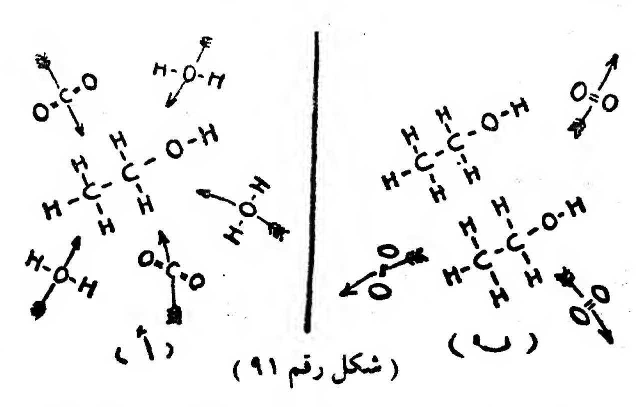
والحق أننا نعلم أن الهواء الجوى لن يتجمع فى أحد أركان الحجرة فجأة أو على الأقل تكون فرص حدوث هذا الأمر غير العادى ضئيلة حتى يمكن اهمالها · ومن ناحية أخرى نحن نعرف أيضا أنه لو كان عدد الجزيئات فى الحجرة لا يزيد عن اثنين أو ثلاثة أو أربعة لتجمعت فى ركن واحد أكثر من مرة ·

فأين يوجد الخط الفاصل بين العدد الذى يمكن أن تنطبق عليـــه الجملة الأولى والعدد الذى تتحقق فيه الثانية ؟ هل هو ألف جزىء ؟ أم مليون ؟ أم بليون ؟ ·

وبالمثل فان دراسة العمليات الحية الأولية لا ينتظر منها العثـــور على خط فاصل بين بعض الظواهر الجزيئية البسيطة مثل تبلور الملح فى محلول مائى له والظواهر الأكثر تعقيدا رغم أنها لا تختلف فى عملها من حيث الأساس ، مثل ظاهرة نمو وانقسام الخلية الحية · وبالنسبة لهذا المثال بالذات نستطيع أن نقـول مع ذلك ان نمو البـلورات فى محلول لا يجب النظر اليه باعتباره ظاهرة حية لأن « الغذاء » الذى تســتعمله البلورات فى نموها يتم تمثيله داخلها دون حدوث تغير فى شكله الذى يوجد عليه فى المحلول · وجزىء الملح الذى سبق مزجه مع جزيئات الماء يتجمع ببساطة على سطح البلورة النامية · ونحن هنا حيال ظاهرة تراكم ميكانيكى عاد للمادة بدلا من عملية **تمثيل الغذاء بيولوجيا** . على أن تضاعف البلورات نتيجة لانفلاقها الى أجزاء غير منتظمة وغير محددة الأبعاد مسبقا ونتيجة للقوى الميكانيكية الناشئة عن الرزن ـ يؤدى الى حدوث عمليـة

تشبه الانقسام البيولوجى فى الخلايا الحية الى أنصاف خلايا والتى تحدث نتيجة لقوى داخلية ٠

ومثلا لو كان وجود جزىء كحولى مفرد (C_2H_5OH) فى محلول مائى غاز ثانى اكسيد الكربون ، سوف يؤدى الى بدء عملية تمثيل ذاتى يكون من شأنها فك الروابط بين جزيئات H_2O) فى الماء واحدة بعد الأخرى وجزيئات O_2 للغاز المذاب مكونة جزئيا كحول جديد (٤) لكان ذلك جسرا يقرب بين هذه العملية العمليات البيولوجية ٠ والحقيقة لو أن وجود قطرة خمر فى زجاجة صودا عادية سيؤدى الى تحويل هذه الصودا الى خمر نقى لكان لزاما علينا أن نعتبر الكحول مادة حية !



(شكل رقم ٩١)

صورة مبسطة للاسلوب الذى يمكن به لجزىء الكحول ان ينظم جزيئات الماء وثانى أكسيد الكربون محولا اياها الى جزىء كحول جديد ٠ ولو كانت هذه العملية من عمليات « التمثيل الذاتى » للكحول ممكنة لكان علينا ان نصنف الكحول باعتباره من المواد الحية ٠

ان هذا المثال ليس عجيبا كما يتراءى لك ، اذ أنه توجد مواد كيميائية معقدة تعرف **بالفيروسات** وتقوم جزيئاتها المعقدة الى حد ما (تتكون هذه الجزيئات من مئات الآلاف من الذرات) بأداء وظيفة لبقية الجزيئات الأخرى من الوسط المحيط بحيث تحولها الى وحدات بنائية شبيهة بها وسوف نعرض لهذا فيما بعد ٠ ونعتبر هذه الجسيمات الفيروسية جزيئات كيميائية عادية كما تعتبر فى الوقت ذاته من النظم الحية ، وهى بذلك تمثل « الحلقة المفقودة » بين المادة الحية والمادة غير الحية ٠

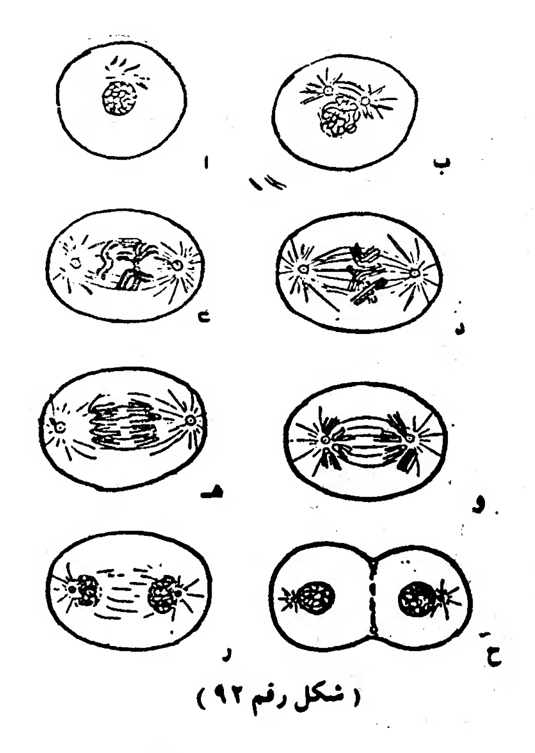
---

(٤) حيث التفاعل المفترض هو :

$$3H_2O + 2CO_2 + [C_2H_2CH] \longrightarrow$$
$$2[C_2H_5OH] + 3O_2$$

وبذا يؤدى وجود جزىء كحول واحد الى تكوين جزىء آخر ٠

ولكن علينا الآن أن نعود الى مشكلة نمو وتكاثر الخلايا العادية التى رغم شدة تعقيدها تعتبر أبسط من الجزيئات ولابد من النظر اليها بوصفها أبسط النظم الحية ·



(شكل رقم ٩٢)

المراحل المتتابعة لعملية انقسام الخلية انقساما فتيليا

فاذا نظرنا الى خلية نموذجية تحت الميكروسكوب نرى أنها مكونة من مادة هلامية شبه شفافة ذات تركيب كيميائى معقد جدا ، ويطلق عليها **البروتوبلازم** · وهى محاطة بجدار الخلية الذى يكون دقيقا ومرنا فى الخلايا الحيوانية ، وسميكا وثقيلا فى الخلايا النباتية المختلفة مما يكسب أجسام النباتات درجة عالية من الصلابة (انظر شكل ٩٠) · وتحتوى كل خلية من الداخل على جسم كروى صغير يعرف **بالنواة** التى تتكون من شبكة دقيقة من المادة المعروفة **بالكروماتين** (شكل ٩٢) · ويجـــدر بنا هنا ملاحظة أن أجزاء البروتوبلازم المختلفة التى يتكون منها جسم الخلية تكون ذات شفافية بصرية تحت الظروف العادية لذا لا يمكن ملاحظة بنية الخلية بمجرد النظر اليها تحت الميكروسكوب · وحتى يمكن رؤية هذا البناء ينبغى علينا أن نصبغ مادة الخلية اعتمادا على أن هذه الأجزاء تمتص الصبغة وفق درجات مختلفة · وتعتبر المادة المكونة لشبكة النواة

أكثر قبولا للاصطباغ بصفة خاصة ، وتظهر بوضوح للعيان ولو كان وراءها خلفية فاتحة اللون (٥) . ومن هنـــا جاء الاسم كروماتين الذى يعنى باليونانية « مادة تقبل الصبغة » .

وعندما تستعد الخلية لعملية الانقسام الحية يصبح هيكل الشبكة النووية أكثر تفصيلا مما كان ويبدو مكونا من عدد من الجسيمات المنفصلة (شكل ٢) على شكل ألياف أو قضبان عادة وتسمى بالكروموزومات (أى أجسام تقبل الصبغة وتحتوى كافة الخلايا فى أى نوع من المخلوقات الحية (فيما عدا الأنواع المعروفة بالخلايا التناســـلية) على نفس عدد الكروموزومات ويكون عددها فى النظم الحية المتطورة أكثر من هذا العدد فى النظم الأقل تطورا عادة .

ان ذبابة الفاكهة الصـــغيرة التى تفخر بحمل اســـمها اللاتينى « دروسوفيلا ميلانوجاستر » (*) ، والتى ساعدت البيولوجيين في فى فهم الكثير مما استغلق عليهم من ألغاز الحياة لا تحتوى فى كل خلية من خلاياها الا على **ثمانية** كروموزومات . بينما تحتوى خلية نبات البـــازلاء على **أربعة عشر** كروموزوما ، والقمح على **عشرين** كروموزوما . والبيولوجيون وهم من البشر لا يختلفون من حيث ذلك عنهم يفخرون بحمل **ثمـــانية وأربعين** كروموزوما فى كل خلية ، وربما كان هذا برهانا حسابيا بحتا على أن الانسان أفضل من الذبابة بست مرات ، لولا هذا الجدل الذى انتهى الى أن جراد البحر بكروموزماته التى تبلغ **مائتى كروموزوما** أفضل من الانسان بأربع مرات على الأقل بتطبيق نفس المنطق ! .

والمهم بالنسبة لعدد كروموزومات الخلية فى مختلف أنواع الكائنات الحية أن هذا العدد يكون دائما **زوجيا** ، والواقع أنه **يوجد فى أى خلية حية (مع استثناء واحد سنناقشه فيما بعد) طاقمان متطابقان تقريبا من**

---

(٥) نستطيع استخدام أســلوب مماثل عن طريق كتابة شىء على قطعة من الورق باستخدام مادة شمعية . وسوف تبقى الكتابة مختفية حتى تحاول تظليل الورقة باستخدام قلم رصاص أسود . وحيث أن الجرافيت لن يعلق بالأماكن المدهونة بالشمع فان الكتابة ستظهر واضحة فى خلفية مظللة .

(٦) يجدر بنا أن نتذكر ان عملية صباغة الخلية الحية تقتلها عادة ومن ثم تحول دون نموها بعد ذلك . ولذا فان الصور المتتابعة للانقسام الخلوى مثل تلك الصور فى (شكل ٩٢) لا يتم الحصول عليها بملاحظة خلية واحدة ، ولكن بواسطة صباغة وقتل خلايا مختلفة فى شتى مراحل النمو . ومع ذلك فان هذا من حيث المبدأ لا يؤدى الى حـــدوث اى فارق ملحوظ .

(*) **Drosaphila melanogaster**

الكروموزومات يأتى أحدهما من الأم والآخر من الأب · ويحمل هـذان الطاقمان الآتيان من الأبوين الصفات الوراثية المعقدة التى تنتقل من جيل الى جيل الى آخر من الكائنات الحية ·

ويبدأ انقسام الخلية بالكروموزومات حيث ينقسم كل منها طوليا وبانتظام الى نصفين متطابقين وان كانت أليافهما أدق بينما تبقى الخلية ككل دون أن تمس وتظل وحدة واحدة (شكل ٩٢ أ) ·

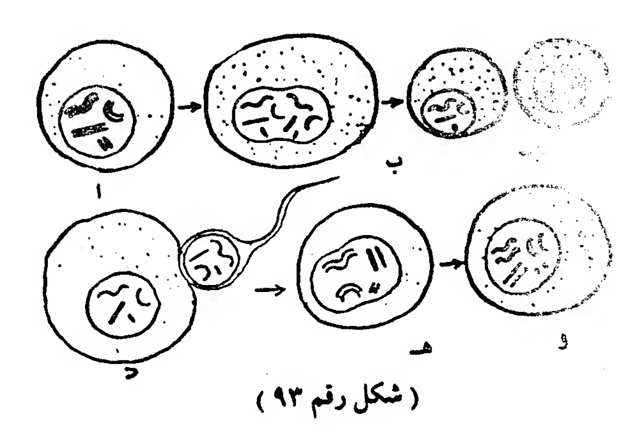
أما عن المرحلة التى تبدأ عندها الكروموزومات المتشابكة أصلا فى الاستعداد للانقسام ، فهنـــاك نقطتان تعرفان بالجســـيمين المركزيين (سنتروزوم) وتقعان بالقرب من بعضهما قريبا من الخط الخارجى للنواة . ويبدأ هذان الجسيمان فى الابتعاد عن بعضهما تدريجيا الى طرفى الخلية (شكل ٩٢ أ ب ج) وتظهر أيضا خيوط رفيعة تصل هذين الجسيمين بالكروموزومات داخل النواة · وعندما تنقسم الكروموزومات الى نصفين يتصل كل كروموزوم بالسنتروزوم المقابل له فى الاتجاه ويجذب بشدة بعيدا عن الآخر نتيجة لانكماش الخيوط (شكل ٩٢ هـ ، و) · وعنـدما تقارب هذه العملية على الانتهاء (شكل ٩٢ ز) يبدأ جدار الخلية فى الاختناق على امتداد خط مركزى ، ويظهر جدار دقيق بعرض كل نصف فى الخلية وينفصل النصفان عن بعضهما ليصبحا خليتين جديدتين مميزتين ·

واذا حصلت الخليتان الجديدتان على الطعام الكافى من الخارج فانهما تنموان لتصبحا فى حجم الأم (معامل ٢) وبعد فترة استرخاء معينة يبدأ الانقسام فيهما بنفس النظام الذى سبق أن مرا به ·

ويأتى هذا الوصف لخطوات انقسام الخلية المرحلى نتيجة للمشاهدة المباشرة ، وهو قصارى ما وصل العلم اليه فى محاولاته لتفســـير هذه الظاهرة حيث أن ما تمت مشاهدته بالنسبة لطبيعة القوى الكيميائيـة الطبيعية المسئولة عن الانقسام لا يزال قليلا للغاية · ويبدو أن الخلية باعتبارها كل متكامل لا تزال أكثر تعقيدا بالنسبة للتحليل الفيزيائى المباشر ، وقبل الاقدام على هـــذا المعترك لابد للمرء أن يفهم طبيعـــة الكروموزومات ــ وهى مشكلة قد تبدو عند مقارنتها بالانقسام أقل تعقيدا وسوف نتعرض لها فى الجزء التالى ·

ولكن من المفيد أولا أن نتأمل فى مسئولية انقسام الخلية عن عمليات التولد فى النظم الحية المعقدة التى تتكون من عدد كبير من الخلايا · وربما راق لنا أن نسأل الآن ما الذى يأتى أولا البيضة أم الدجاجة ولكن الحق

أننا عندما نتعرض لوصف عملية دائرية كهذه فلا يهم أن نبدأ «بالبيضة» أو نبدأ « بالدجاجة » (أو أى حيوان آخر) ٠



(شكل رقم ٩٣)

تكون الأمشاج (ا ، ب ، جـ) وتلقيح خلية البيضة (د ، هـ ، و) فى العملية الاولى (انقسام منصف) تنقسم ازواج الكروموزومات فى الخلية الأم الى « نصفى خلية » دون انقسام تمهيدى ٠ وفى العملية الثانية (اقتران) تخترق خلية الحيوان المنوى جدار البيضة وتزدوج الكروموزومات ٠ ونتيجة لذلك تبدا الخلية الملقحة فى الاستعداد لانقسام عاد كما يتضح من الشكل السابق (٩٢)

وافترض أننا سنبدأ « بالدجاجة » التى قد خرجت من البيضة حالا فعند لحظة الفقس (أو المولد) تمر الخلايا فى جسدها بعمليات انقسام متوالية وبالتالى تؤدى الى تطور الجسم ونموه بسرعة ٠ واذا تذكرنا أن جسم الحيوان البالغ يحتوى على آلاف البلايين من الخلايا التى خرجت الى حيز الوجود نتيجة للانقسامات المتتابعة فى خلية بيضة ملقحة واحدة ، فمن الطبيعى أن نظن لأول وهلة أنه حتى تتحقق هذه النتيجة فلابد من حدوث عدد هائل من عمليات الانقسام وليس عليك الا أن تتذكر العدد الذى بدأ به « سيزا بن ظاهر » من حبات القمح على وعد بمضاعفته فى متوالية هندسية عدد حدودها ٦٤ ، أو عدد الأعوام الكافية لاعادة ترتيب ٦٤ قرصا فى مشكلة نهاية العالم التى تعرضنا لها فى الفصل الأول ، وعندئذ ستجد أن عمليات الانقسام الواجب حدوثها فى جسم الحيوان هى أقل نسبيا من الأعداد السابقة ، فاذا رمزنا لعدد عمليات الانقسام المتتابعة التى يجب حدوثها فى الكائن الحى حتى النمو بالرمز س ، وتذكرنا بعد ذلك أن كل انقسام يعنى مضاعفة العدد (اذ تصبح كل خلية خليتين) نستطيع التوصل الى العدد الكلى للانقسامات التى تحدث فى خلايا الجسم البشرى بدءا من تلقيح البويضة حتى البلوغ بالتعويض فى المعادلة :

$$٢^{س} = ١٠^{١٤} \quad \text{وسنجد أن س} = ٤٧$$

وهكذا نرى أن كل خلية فى جسدنا البالغ تعتبر عضوا من الجيل الخمسين تقريبا للخلية الأصلية المسئولة عن وجودنا (٧) ٠

وعلى الرغم من أن الخلايا تنقسم فى الحيوانات الصغيرة بمعدل أسرع الا أن أغلب خلايا الأفراد البالغين تكون فى « حالة استرخاء » ولا تنقسم الا بصفة عارضة للمحافظة على « بقاء الجسم » أثناء فترة العمر وتعويض التلف والتآكل ٠

والآن نصل الى نوع خاص وهام جدا من انقسام الخلية الذى يؤدى الى تكوين ما يعرف ب « المشيج » أو « الخلايا التناسلية » المسئولة عن ظاهرة التوالد ٠

ويحدث فى أولى مراحل العمر فى أى نظام حى ثنائى الجنس ، أن يجنب عدد من الخلايا « احتياطيا » لعملية التكاثر فيما بعد ٠ وتوجد هذه الخلايا فى أعضاء تناسلية خاصة وتمر بعدد من عمليات الانقسام العادية ـ أثناء نمو النظام ـ أقل من العدد الذى تمر به أى خلية أخرى ، وتبقى هذه الخلايا نشطة وسريعة الاستجابة عندما تستدعى لانتاج ذرية جديدة ٠ كما أن انقسام هذا النوع من الخلايا التناسلية يتم فى خطوات أبسط بكثير من خطوات الانقسام العادى لخلايا الجسد ٠ فالكروموزومات المكونة لأنويتها لا تنقسم الى نصفين كما فى الخلية العادية ولكنها تنفصل عن بعضها ببساطة (شكل ٩٣ أ ، ب ، جـ) ، **وهكذا تحصل كل خلية وليدة على نصف طاقم الكروموزومات الأصلى ٠**

وتعرف العملية المؤدية الى هذا الاختزال الكروموزومى بعملية « الانقسام المنصف » على خلاف عملية الانقسام العادية المعروفة ب « الانقسام الفتيلى » ٠ وتعرف الخلايا الناتجة عن هذا الانقسام باسم « الحيوانات المنوية » و « البويضات » **أو الأمشاج الذكرية والأنثوية ٠**

وربما تساءل القارىء الفطن عن كيفية خروج أمشاج ذكرية أو انثوية من انقسام الخلية الأصلية الى نصفين متساويين ٠ ويكمن السر فى الاستثناء الذى ذكرناه من قبل لنجملة التى مفادها أن عدد الكروموزومات يكون زوجيا دائما ٠ فهناك زوج معين من الكروموزومات يكون مكوناه متطابقين فى جسم الانثى ومختلفين فى جسم الذكر ٠

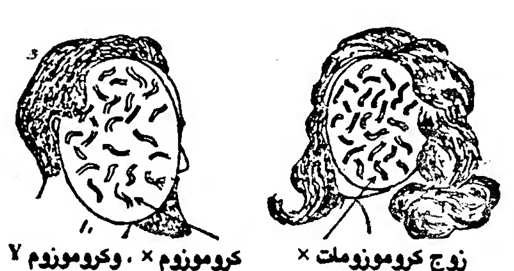
---

(٧) من المثير أن تقارن هذه الحسبة ونتيجتها بحسبة أخرى مشابهة خاصة بالانفجار الذرى (انظر الفصل السابع) ٠ ان عدد الانقسامات الذرية الضرورى لحدوث الانشطار (« التخصيب ») فى كل ذرة يورانيوم فى كيلوجرام واحد من المادة (اجمالى ٢ر٥ × ١٠^{٢٤} ذرة) يمكن الوصول اليه باستخدام معادلة مشابهة : ٢ س = ٢ر٥ × ٢٠^{٢٤} أى س = ٦١ ٠

وتعرف هذه الكروموزومات بكروموزومات الجنس ويشار اليها بالرمزين X ، Y ، والخلية الموجودة فى جسم الانثى تحتوى دائما على زوج من كروموزومات × بينما تحتوى الخلية فى جسم الذكر على X ، Y (٨) ويعتبر هذا الاختلاف الفارق الأساسى بين الجنسين (شكل ٩٤) وحيث ان جميع الخلايا التناسلية المحتجزة فى النظام الأنثوى تحتوى على طاقم كامل من كروموزومات × ، فان عملية الانقسام المنصف تؤدى الى ظهور خليتين تحتوى كل منهما على كروموزوم × ٠ ولكن خلايا الرجل التناسلية تحتوى كل منها على كروموزوم × وآخر Y فعندما ينقسم احداها تكون النتيجة مشيجين أحدهما يحتوى على × والآخر على Y ٠

وعند حدوث التلقيح يتحد مشيج ذكرى (حيوان منوى) مع مشيج أنثوى (البويضة) وتكون الفرصة ٥٠ : ٥٠ فى أن يثمر الاتحاد عن زوجين من × أو عن × ، Y ٠ وفى الحالة الأولى يكون المولود أنثى وفى الحالة الثانية يكون ذكرا ٠

وسوف نتعرض فى الجزء القادم لهذه المشكلة الهامة وسنبدأ الآن بوصف عملية التكاثر ٠



(شكل رقم ٩٤)

الاختلاف فى الوجه بين الرجل والمرأة ٠ ففى حين ان كل خلايا جسم المراة تحتوى على ٤٨ كروموسوم مزدوج بحيث يكون نصفا الكروموزوم صورة طبق الأصل من بعضهما البعض ، نجد ان خلايا جسم الرجل تحتوى على زوج غير متماثل ٠ فبدلا من كروموزومين × كما فى المراة يكون لدى الرجل × ، Y ٠

عندما تتحد الحيوانات المنوية للذكر مع بويضات الأنثى وهى عملية تعرف ب « الاقتران » يكون الناتج خلية كاملة تبدأ فى الانقسام الى خليتين

---

(٨) يصح هذا على البشر وجميع الثدييات الا أن الوضع يكون معكوسا فى الطيور حيث يكون للذكر كروموزومان متطابقان وللانثى زوج من الكروموزومات المختلفة ٠

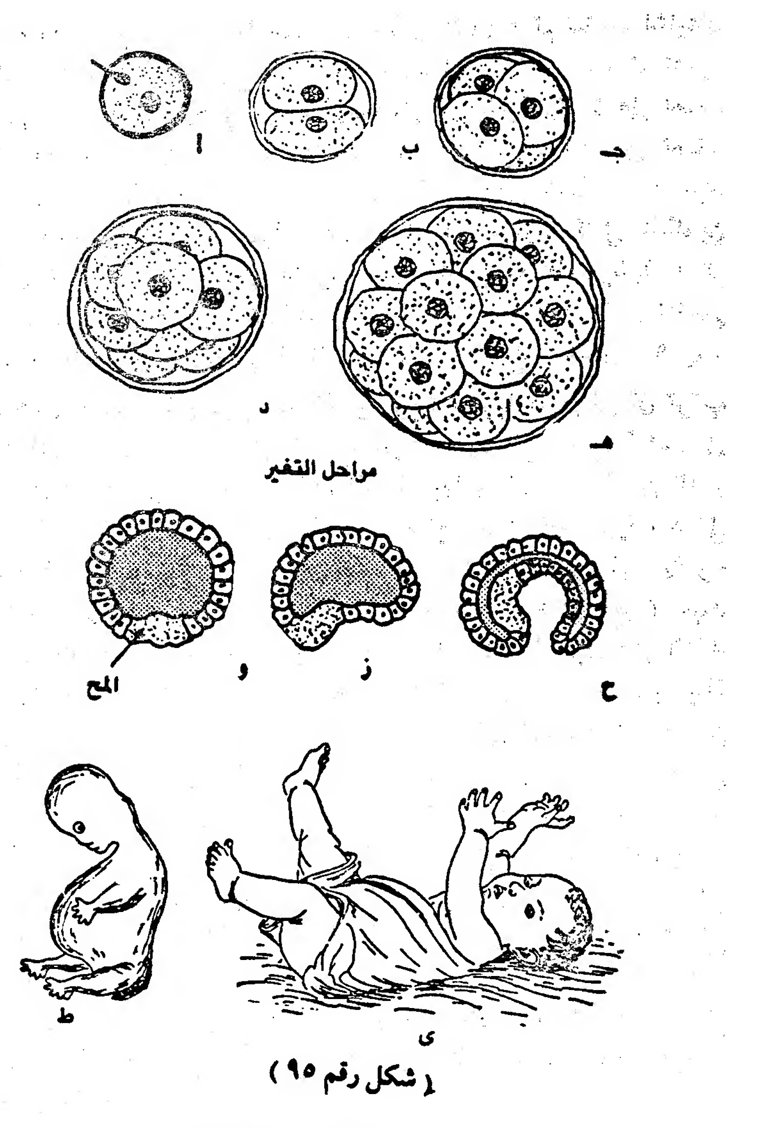
فى عملية « الانقسام الفتيلى » الموضحة فى شكل (٩٢) · ثم تنقسم الخليتان الناتجتان بهذا الشكل الى أربع خلايا بعد فترة استرخاء صغيرة ثم تتكرر العملية فى الأربع خلايا وهلم جرة · وتحصل كل خلية وليدة على نصف الكروموزومات تماما من البويضة المخصبة التى حصلت على نصف كروموزوماتها من الأب والنصف الآخر من الأم ، وفى شكل ٩٥ نرى التطور التدريجى لبيضة مخصبة حتى تصل الى مولود كامل التكوين وفى (أ) ترى الحيوان المنوى يخترق جسم البويضة المسترخية · ثم يحفز اتحاد المشيجين على بدء نشاط جديد فى الخلية الكاملة التى تنقسم أولا الى ٢ ثم الى ٤ ثم الى ٨ ثم الى ١٦ ·· الخ ·· الخ (شكل ٩٥ ب ، ج ، د ، هـ) · وعندما يصبح عدد الخلايا كبيرا نسبيا تميل الى أن ترتب نفسها بشكل يجعلها جميعا على السطح حيث تكون فى وضع أفضل للحصول على الغذاء من الوسط المغذى المحيط بها وهذه المرحلة من النمو التى يبدو فيها النظام الحى أشبه بفقاعة صغيرة ذات تجويف داخلى تعرف بـ « * البلاستولة » (و) · ثم يبدأ جدار التجويف فى الالتواء للداخل (ز) ويدخل النظام المرحلة المعدية (من المعدة) (ح) حيث يبدو خلالها شبيها بكيس صغير به فتحة تعمل على الحصول على الغذاء واخراج الجزء الفاقد من المواد المهضومة · ولا تتخطى الحيوانات البسيطة مثل المرجانيات هذه المرحلة من النمو اطلاقا ، أما فى الأنواع الأخرى من الكائنات المتطورة فتستمر عمليات النمو ، وتتحور بعض الخلايا الى هيكل عظمى ، والبعض الآخر الى أجهزة هضمية وتنفسية وعصبية ، وبالمرور بالمراحل الجنينية المختلفة (ح) يصبح النظام فى النهاية حيوانا صغيرا يمكن التعرف عليه كعضو فى فصيلته (ك) وكما ذكرنا من قبل تتنحى بعض الخلايا النامية فى النظام المتطور حتى فى أوائل مراحل نموه بحيث تصلح لأن تكون احتياطيا ، اذا صح التعبير ، للقيام بوظيفة التكاثر مستقبلا · وعندما يصل النظام الى مرحلة البلوغ تمر هذه الخلايا لعملية انقسام اختزالى (منصف) فتنتج الأمشاج التى تبدأ العملية كلها من جديد ، وهكذا تمضى الحياة ·

٢ ـ الوراثة والجينات :

تكمن اهم ملامح عملية التكاثر فى أن النظام الحى الناتج عن اتحاد زوج من الأمشاج الآتية من أبوين لا ينمو بحيث يصبح أى نوع من المخلوقات الحية ولكنه يشب صورة أمينة وان لم تكن بالضرورة طبق الأصل من الأبوين والأجداد ·

---

* Blastula



(شكل رقم ٩٥)

من بويضة حتى مولود كامل ٠

والواقع أن الجرو المولود لأبوين من الكلاب الأيرلندية لا ينمو كلبا بدلا من أن يكون أرنبا أو فيلا فحسب ولكنه يشبه أبويه أيضا فى أنه لا يصل الى مراحل نمو الأفيال أو يتوقف نموه عند حجم الأرانب كما أنه سيمتلك أربعة أرجل وذيل طويل وأذنين وعينين على جانبى رأسه ٠ وبمقدورنا أيضا أن نثق تماما فى أن أذنيه سينموان على درجة من اللين والتدلى وأن فراءه سيكون طويلا وبنى اللون أقرب الى الذهبى ، كما يحتمل كثيرا أن يشب مولعا بالصيد ، بالاضافة الى أنه سيوجد عدد مختلف من

النقاط يمكن اقتفاء أثرها من ملاحظة الأب أو الأم أو ربما أحد الأجداد وسيحمل أيضا صفات خاصة ٠

والسؤال الآن كيف وصلت هذه الصفات المختلفة التى كان يحملها الكلبان الايرلنديان الى أجنتهما محمولة على قطع مادية ميكروسكوبية فى المشيجين اللذين كونا الخلية الأولى بعد اتحادهما ؟ ٠

وكما رأينا من قبل يحصل كل نظام حى جديد على نصف عدد الكروموزومات تماما من الأب والنصف الآخر من الأم ٠ وواضح أن الصفات الأساسية لأى نوع من الكائنات الحية لابد أن تكون آتية أصلا من كل من كروموزومات الأب والأم فى حين أن الصفات الثانوية التى يمكن أن تختلف من شخص لآخر ربما تكون ناتجة عن أحد الأبوين فقط وعلى الرغم من أن هناك شكا بسيطا فى أنه مع مرور الزمن وبعد أجيال عديدة جدا تصبح اغلب الصفات الأساسية للحيوانات والنباتات المختلفة عرضة للتغير (والدليل على ذلك التطور العضوى) الا أن فترات الملاحظة المحدودة لا يمكن أن تسفر الا عن قدر ضئيل نسبيا من التغير فى الصفات الثانوية التى يمكن للانسان أن يراقبها فى حدود علمه ٠

ان دراسة هذه الصفات وانتقالها من الآباء الى الأبناء هى الموضوع الرئيسى لعلم **الجينات** هذا العلم الجديد الذى لا يزال عمليا فى مهده وهو بالرغم من ذلك كفيل بأن يمدنا بغرائب المعلومات عن أدق أسرار الحياة ٠ فقد تعلمنا على سبيل المثال أن قوانين الوراثة تتميز ببساطة حسابية مطلقة على النقيض من أغلب الظواهر البيولوجية مما يشير الى أننا نتعامل مع احدى الظواهر الأساسية فى الحياة ٠

ومن الأمثلة على ذلك هذا القصور المعروف فى نظر الانسان والذى يطلق عليه **عمى الألوان** ، وأكثر أنواعه شيوعا يتميز بالعجز عن التمييز بين اللون الأحمر واللون الأخضر ٠ وحتى يمكننا تفسير عمى الألوان ينبغى فى البداية أن نفهم كيفية رؤيتها من خلال دراسة البناء المركب للشبكية وخواصها ، ومشكلة التفاعلات الضوئية الكيميائية الناتجة عن الأطوال الموجية المختلفة للضوء وهكذا الخ ٠٠ الخ ٠

ولكن اذا سألنا أنفسنا عن **وراثة عمى الألوان** ، وهو سؤال قد يبدو لأول وهلة أكثر تعقيدا من تفسير الظاهرة نفسها ، نجد أن الاجابة عليه بسيطة وميسرة بخلاف ما نتوقعه ٠ ومن المعروف والذى تؤكده حقائق المشاهدة ما يلى :

١ ــ أن الرجال أكثر عرضة للاصابة بعمى الالوان من النساء ٠

٢ ـ أن الآباء المصابين بعمى الألوان ينجبون أطفالا طبيعيين تماما اذا تزوجوا من سيدات « صحيحات » غير مصابات بالمرض ·

٣ ـ أن الآباء « الأصحاء » من هذا العيب اذا تزوجوا نساء من المصابات به يكون أولادهم من الذكور مصابين به بينما لا يؤثر ذلك على البنات ·

وبمعرفة هذه الحقائق التى تشير بوضوح الى أن وراثة عمى الألوان تكون مرتبطة الى حد ما بالجنس ، ليس أمامنا الا أن نفترض أن عمى الألوان ينشأ عن قصور فى أحد الكروموزومات وينتقل مع هذا الكروموزوم من جيل الى آخر ، وبالجمع بين هذين الاستنتاجين نصل الى افتراض أهم وهو : **ان عمى الألوان ينشأ عن قصور فى الكروموزوم الجنسى الذى سبق أن رمزنا اليه بالرمز × ·**

وبهذا الافتراض تصبح القواعد التجريبية الخاصة بعمى الألوان فى وضوح البلور · وتذكر أن خلايا الاناث تحتوى على كروموزومى × فى حين أن الخلايا الذكرية تحتوى على كروموزوم واحـــد × (والكروموزوم الآخر Y) فاذا كان كروموزوم × الوحيد فى الرجل به هذا العيب أصبح الرجل مصابا به · أما فى المرأة فلابد أن يحمل الكروموزومان × هذه الصفة حيث أن كروموزوما واحدا فقط لا يكفى للاصابة بهـــذا القصور · ولو كانت فرصة وجود عمى الألوان فى الكروموزم واحد الى ألف مثلا فسوف نجد مصابا واحدا بالمرض من بين كل ألف رجل ·

ويمكن بداهة حساب احتمال اصابة الكروموزومين بالمرض فى امرأة وفقا لنظرية ضرب الاحتمالات (انظر الفصل الثامن) فيكون الناتج :

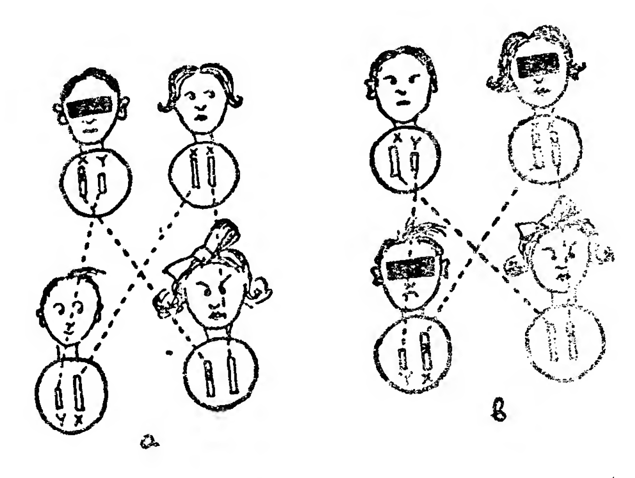
$\frac{١}{١٠٠٠} \times \frac{١}{١٠٠٠} = \frac{١}{١٠٠٠٫٠٠٠}$ ، وهكذا نتوقع اصابة امرأة واحـــدة من كل مليون امرأة بهذا المرض ·

والآن لنتأمل حالة زوج مصاب بعمى الألوان ومقترن بزوجة طبيعية (شكل ٩٦ أ) · وفى هذه الحالة لن يحصل الأبناء على كروموزوم × من الأب وسيحصلون على كروموزوم × واحد « سليم » من الأم ومن ثم لا يوجد ما يسبب اصابتهم بعمى الألوان ·

أما الفتيات فسوف تحصلن على كروموزوم × « سليم » من الأم وآخر « مصاب » من الأب · وهكذا لن تصبن بعمى الألوان مع احتمـــال اصابة (أبنائهن) به ·

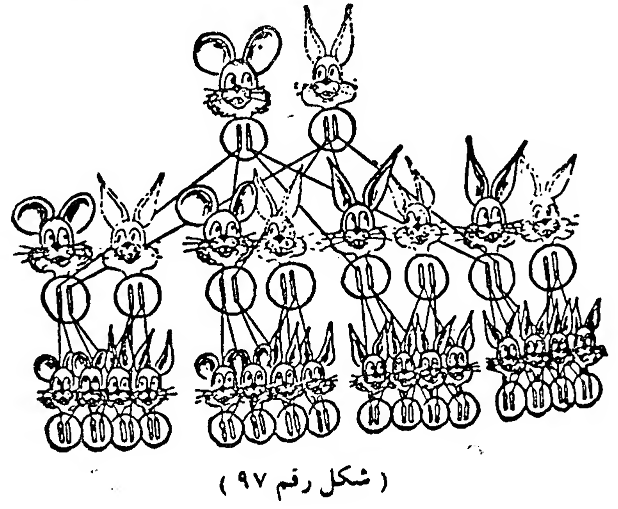
وفى الحالة العكسية حيث تتزوج امرأة مصـــابة بالمرض من زوج « طبيعى » (شكل ٩٦ ب) نجد أن الأبناء يصابون حتما بالمرض اذ أن

كروموزوم × الوحيد الذى يحملونه يأتى من الأم • وبالنسبة للفتيات فسوف ينتقل اليهن كروموزوم « سليم » من الأب وآخر « مصاب » من الأم وبالتالى لن يصبن بالمرض رغم أن هناك احتمالا لاصابة أبنائهن به كما فى الحالة السابقة • وهكذا ترى أن القاعدة تتسم بأكبر قدر ممكن من البساطة ! •



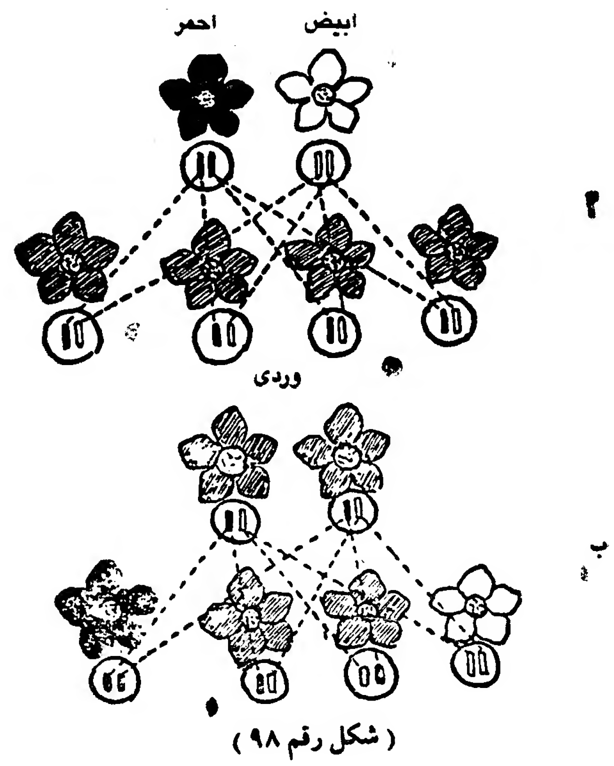
(شكل رقم ٩٦)

ان الصفات الوراثية الشبيهة بعمى الألوان التى يستلزم ظهورها أن تتوفر فى كروموزومين تعرف « بالصفات الكامنة » وهى تنتقل أحيانا من الأجداد الى الأحفاد فى صورة خفية وتعتبر مسئولة عن الأحداث المحزنة مثل انجاب زوج من كلاب الرعى الألمانية لجرو مشوه دميم •



(شكل رقم ٩٧)

وينطبق العكس على ما يعرف « بالصفات السائدة » التى تظهر على الفرد ولو كانت محمولة على كروموزوم واحد فحسب · وحتى نستطيع ايضاح هذه الحقيقة الخاصة بالجينات انظر شكل ٩٧ الذى يظهر فيه هذا الأرنب الوهمى الذى تشبه أذناه ميكى ماوس · فاذا افترضنا أن « أذنى ميكى ماوس » من الصفات السائدة وراثيا أى أن تغيرا فى كروموزوم واحد يكفى لجعل الأذنين تنموان بهذا الشكل المخجل (بالنسبة الأرنب الوهمى الذى تشبه أذناه أذنا ميكى ماوس · فاذا افترضنا أن بعد القاء نظرة على الشكل مع افتراض أن الأرنب المولود لهذه الذرية سوف يتزاوج مع أرنب طبيعى · وترى أننا قد رمزنا فى الشكل بنقطة سوداء فى الكروموزوم المسئول عن الاصابة بآذان ميكى ·



(شكل رقم ٩٨)

وهناك بالاضافة الى الصفات **السائدة** و **الكامنة** ما يعرف بالصفات « الكمية » (*) · افترض أن فى حديقتك أربع زهرات حمراء وبيضاء · وعندما تحمل الريح حبوب اللقاح (الخلايا الذكرية فى الزهور) من زهرة حمراء أو تنتقل عن طريق حشرة طائرة الى زهرة أخرى حمراء أيضا

(*) او التراكمية ·

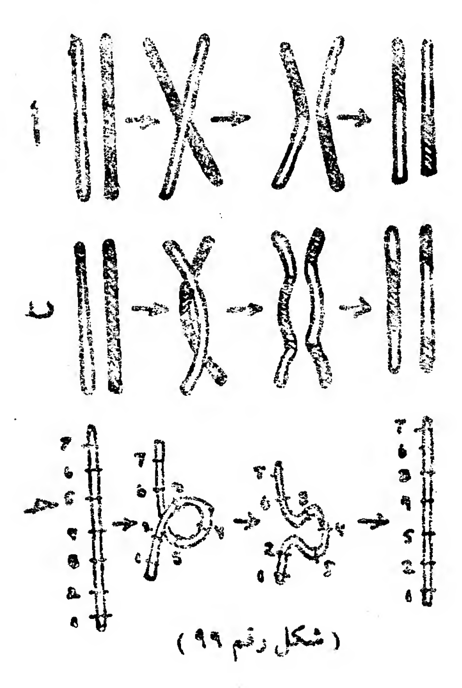
فانها تتحد مع البذيرة (الخلية الأنثوية فى النبات) التى يكون مكانها فى قاع البتلة ، وتنمو بذور ينتج عن زراعتها زهور حمراء ٠ وينطبق نفس الشيء على تلقيح الزهور البيضاء بحبوب لقاح من زهور مماثلة لهـا فى اللون ٠ ولكن اذا حدث وحطت حبوب اللقاح الآتية من زهور بيضاء على زهور حمراء أو العكس فان البذور الناتجـة سوف تؤدى الى نمو نباتات ذات زهور وردية ٠ ومن الواضح أن الزهور الوردية لا تمثـل فصيلة قائمة بذاتها ٠ فاذا ما تمت زراعتها معا سنجد أن الجيل التالى منها يتوزع بين ٥٠ فى المائة زهور وردية ، و ٢٥ فى المائة زهور حمراء و ٢٥ فى المائة زهور بيضاء ٠

ويمكن تفسير ذلك بسهولة اذا افترضنا أن صـفة الاحمرار أو البياض تحمل على كروموزم واحد فى خلية النبات ، وحتى يكون اللون نقيا لابد من أن يكون كلا الكروموزمين متطابقا من هذه الناحية ٠ فاذا كان أحدهما « أحمر » والآخر « أبيض » انجلى غبار معركة الألوان عن زهور وردية اللون ٠ وبالنظر الى شكل ٩٨ الذى يوضح هذه الظاهرة وهى توزيع « كروموزومات الألوان » فى الذرارى يمكننا أن نفهم العلاقة العددية التى أشرنا اليها من قبل ٠ ومن السهل كذلك ايضاح أن التكاثر بين الزهور البيضاء والوردية سوف يؤدى الى جيل تمثل الزهور الوردية فيه بنسبة ٥٠٪ والبيضاء بنسبة ٥٠٪ فى حين لا تظهر زهور حمراء اطلاقا وما عليك الا أن تجرب ذلك بالرسم كمـا فعلنا فى الحالات السابقة ٠ وكذلك يكون نتيجة التكاثر بين الزهـور الوردية والحمراء ، ٥٠٪ من الزهور الحمراء ، و ٥٠٪ وردية مع عدم وجود زهور بيضاء ٠ وهذه هى قوانين الوراثة التى كان أول من اكتشفها منذ قرن من الزمان الراهب المورافى (*) المتواضع « جريجور مندل » عند زراعته لحبوب البازلاء فى حديقة الدير ٠

لقد قمنا حتى الآن بالاشارة الى ارتباط الصفات الوراثية المختلفة بالكروموزومات التى تنتقل الى الفرد من أبويه ، ولـكن حيث ان عدد الصفات المختلفة يكاد لا يحصى بالنسـبة الى العدد الصغير نسـبيا للكروموزومات (٨ فى كل خلية من خلايا الذبابة ، ٤٨ فى كل خليـة بشرية) فلا مناص لنا من أن نقر بأن كل كروموزوم يحمل قائمة من الخصائص الشخصية التى يمكن أن نتخيلها موزعة على جسـمه الشـبيه بالألياف ٠ وتعبر الطبقات القاتمة الموجودة على الجسم الطويل لكروموزوم

(*) الموارفيون سكان اقليم تشيكى (المترجم) ٠

الغدد اللعابية في ذبابة الفاكهة (دروسوفيلا ميلانو جاستر) (٩) ، عن مواقع الصفات المختلفة من هذا الكروموزوم ، وقد تحمل بعض هـذه الشرائط العرضية صفة لون الحشرة ، بينما يحمل بعضها الآخر صفة شكل الأجنحة فى حين تكون شرائط أخرى مسئولة عن احتواء جسم الذبابة على ستة أرجل يبلغ طول كل منها حوالى ١/٤ بوصة ، وعن اكسابها شكل ذبابة الفاكهة بصفة عامة بحيث تختلف عن الدجاجة أو أم أربع وأربعين ٠



(شكل رقم ٩٩)

والواقع أن علم الجينات يؤكد لنا أن هذا الانطباع صحيح تماما ويستطيع المرء أن يحدد فى حالات كثيرة أى الجينات يحمل أى الصفات ناهيك عن امكانية ايضاح أن هذه الوحدات البنائية الصغيرة للكروموزوم التى عرفناها « بالجينات » تحمل فى ثناياها الصفات الوراثية فى كل نوع ٠

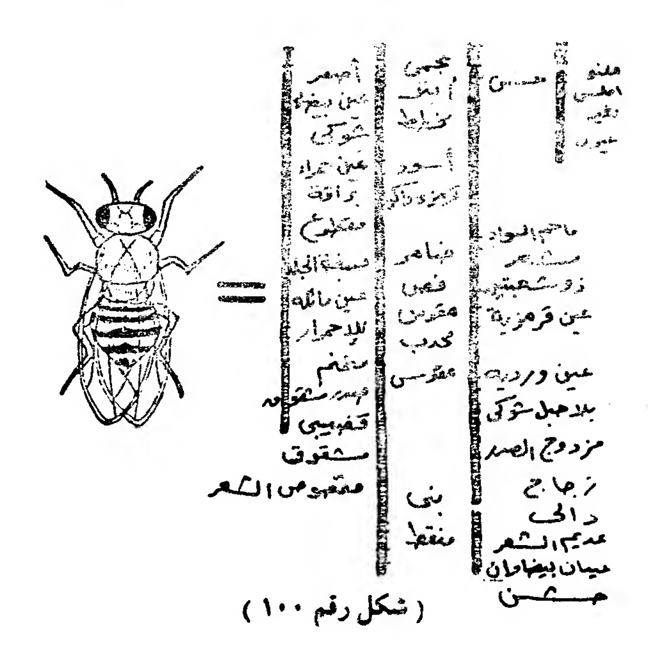
وتبدو جميع الجينات متشابهة مع بعضها تقريبا مهما كانت درجة التكبير المستعملة فى حين تختفى اختلافاتهم الوظيفية فى مكان ما بالداخل فى ثنايا الهيكل الجزيئى ٠

---

(٩) تكون الكروموزومات ، فى هذه الحالة بالذات دونا عن غيرها ، ضخمة الى حد كبير بحيث يمكن دراستها باستخدام طرق التصوير الميكروسكوبى ٠

لذا فان الحكمة من وجود الجينات ووظيفتها فى الحياة لا يمكن التوصل اليها الا من خلال أسلوب انتقال الصفات الوراثية من جيل الى آخر فى نوع ما من النبات أو الحيوان ٠

ولقد رأينا أن أى نظام عضوى يحصل على نصف كروموزوماته من الأب والنصف الآخر من الأم ٠ وحيث ان المجموعات الكروموزومية فى كل من الأم والأب تمثل خليطا نسبته ٥٠ : ٥٠ من الكروموزومات الآتية من الأجداد كان علينا أن نتوقع أن الطفل يرث صفات من جد واحد من ناحية الأم وأخرى من ناحية الأب ٠ على أن هذا ليس صحيحا بالضرورة وهناك حالات **يورث الأربعة جدود فيها صفاتهم الى الأحفاد ٠**



(شكل رقم ١٠٠)

فهل يعنى ذلك أن خطة انتقال الكروموزومات التى أوضحناها سلفا خاطئة ؟ كلا ولكنها بالأحرى مبسطة الى حد ما ، وهناك عنصر لابد من أخذه فى الحسبان وهو ما يحدث فى عملية الاعداد للانقسام المنصف والذى تنقسم الخلايا التناسلية بمقتضاه الى مشيجين حيث يغلب أن تلتوى الكروموزومات المزدوجة على بعضها وتتبادل أجزاءها ٠ وتؤدى هذه العملية التبادلية الموضحة فى شكل (٩٩ أ ، ب) الى اختلاط الجينات الآتية من الأبوين وهى السبب فى الهجين الوراثى ٠ وهناك أيضا حالات (شكل ٩٩ ج) يلتف فيها الكروموزوم المفرد على نفسه فى هيئة لولبية وربما ينقسم بعد ذلك بشكل مختلف بحيث يختلف ترتيب الجينات فيه ٠

ومن الواضح أن اعادة ترتيب الجينات بين زوجين من الكروموزومات أو فى كروموزوم مفرد يحتمل أن تؤثر على المواضع النسبية لهذه الجينات الى حد كبير · وهذا شبيه تماما بما يحدث عند اقتسام مجموعة من أوراق اللعب ثم اعادة جمعها مما يؤدى الى تغيير ترتيب الأوراق فيهـــا بحيث ينعكس من أعلى الى أسفل (وتصبح الورقة التى كانت فى أعلى الكوتشينة مجاورة لآخر ورقة فيها) ولكن هذه العملية لن تفصـــل الا بين ورقتين متجاورتين فحسب ·

وهكذا يمكن من ملاحظة أن هناك صفتين وراثيتين محددتين تنتقلان مع بعضهما دائما فى عبور الكروموزومات أن نستنتج أن الجينين الحاملين لهما متجاوران تماما · وعلى النقيض من ذلك لابد وأن الصفات التى تنفصل عن بعضها فى الغالب عند حدوث عملية العبور تحملها جينات موجودة فى أجزاء متباعدة على الكروموزوم ·

وبالاسترشاد بهذه الخطوط تمكن عالم الوراثة الأمريكى « ت· هـ· مورجن » ومدرسته من ارساء صـــورة محددة لترتيب الجينـــات على كروموزومات ذبابة الفاكهة التى كانت محلا لدراستهم · وفى شـــكل ١٠٠ رسم يوضح توزيع مختلف الصفات على كروموزومات الذبابة الأربعة كما حددتها لنا بحوث العالم ومن معه ·

ويمكن بالطبع رسم شكل مشابه للشكل الســـابق بالنســـبة لكروموزومات أنواع أخرى من الحيوانات الأكثر تعقيدا وكذا الانسان وان كان ذلك يتطلب قدرا أكبر من الدراسات الواعية والتفصيلية ·

٣ ـ الجينات باعتبارها « جزيئات حية » ·

من خلال التحليل السابق للبنية البالغة التعقيد للنظم الحية خطوة خطوة ، نصل الآن الى ما يبدو وكأنه **الوحدات الأساسية للحياة** ولقد رأينا فى الواقع أن دورة النمو بكاملها وكذلك الصفات الواقعية للنظام الحى الناضج تخضع للنظام الذى تفرضه مجموعة من الجينات الكامنة على أعماق بعيدة فى خلاياها وربما استطعنا أن نقول أن كل حيوان أو نبات « ينمو حول » جيناته · واذا جاز لنا هنا أن نطرح قياسا طبيعيا بالغ التبسيط ، نستطيع أن نشبه العلاقة بين الجينات والنظام الحى بالعلاقة بين نواة الذرة وهذا الخضم الهائل من المواد غير العضوية · فهنا أيضا يمكن الرجوع فى جميع الخواص الطبيعية والكيميائية لأى مادة الى الخواص الأولية لنواتها التى تتحدد بعدد الشحنات الكهربية فيها · وهكذا فان النواة التى تحمل شحنة مقدارها ٦ وحدات كهربية أولية مثلا سوف تحيط نفسها بأغلفة

ألكترونية بها ٦ ألكترونات مما يحدو بهذه الذرات الى أن تترتب فى نسق مسدس (سداسى) بحيث تعطى شكل بلورات شديدة الصلادة ذات معامل انكسار عال جدا ، وهى ما نطلق عليه الماس • وبالمثل فان الأنوية التى تحمل الشحنات ٢٩ ، ١٦ ، ٨ ستؤدى الى ايجاد ذرات تتحد ببعضها لتعطى بلورات زرقاء ناعمة للعنصر المعروف بكبريتات النحاس • ولابد أنه حتى أبسط الكائنات الحى هو بطبيعة الأمر أكثر تعقيـــدا من أى بلورات ، ولكننا فى الحالتين أمام نفس الظاهرة وهى تحديد شكل النظام الكلى بأدق تفاصيله بناء على مراكز جزئية ذات نشاط تنظيمى :

فما مبلغ ضخامة هذه المراكز التنظيمية التى تتحكم فى كافة صفات النظم الحية بدءا من عطر الزهرة حتى حجم خرطوم الفيل ؟ •

ويمكن الاجابة على هذا السؤال بسهولة بتقسيم حجم كروموزوم عادى بالنسبة الى عدد الجينات التى يحتوى عليها • ووفقا للملاحظات المجهرية يبلغ سمك الكروموزوم المتوسط حوالى $\frac{١}{١٠٠٠}$ من المليمتر أى أن حجمه يبلغ حوالى ١٠ — ١٤ سم^{٣} • على أن تجارب التكاثر تشير الى أن الكروموزوم الواحد لابد وأن يكون مسئولا عن نقل عدة آلاف من الصفات الوراثية ، ويمكن حصر هذه الصفات مباشرة عن طريق عد الحلقات القاتمة (وهى تعبر عن أماكن الجينات) والتى تتقاطع عرضيا مع أجسام الكروموزومات البالغة النمو فى ذبابة الفاكهة دروسوفيلا ميلانوجاستر (١٠) • وبتقسيم الحجم الكلى للكروموزوم على عدد الجينات المنفصلة تجد أن حجم كل جين لا يزيد عن ١٠ — ١٧ سم^{٣} . وحيث أن الحجم المتوسط للذرة يساوى ١٠ — ٢٣ سم^{٣} تقريبا $\cong$ (٢ × ١٠$^{-}$ ٨)^{٣} نستنتج من ذلك أن كل جين منفصل لابد وأنه يتكون من حوالى مليون ذرة •

وبمقدورنا أيضا أن نحسب الوزن الكلى للجينـــات فى جسم رجل مثلا • فكما رأينا من قبل يتألف جسم الشخص البالغ ١٠^{١٤} خلية يحتوى كل منها على ٤٨ كروموزوم • وبذا يكون الحجم الكلى للكروموزومات فى جسم الانسان حوالى ١٠^{١٤} × ٤٨ × ١٠$^{-}$ ١٤ $\cong$ ٥٠ سم^{٢} وحيث أن كثافة المادة الحية تقترب من كثافة الماء) فلابد أن وزن الجينات سيكون أقل من ٢ آونس (*) • وهذه هى الكمية الصغيرة من « المادة المنظمة » والتى يمكن اهمالها ، ولكنها تبنى من حولها هذا « الغلاف » المعقـــد لجسم الحيوان أو النبات وهو يزيد عن وزنها بآلاف المرات • وهذا الوزن الضئيل من

---

(١٠) يبلغ حجم الكروموزومات العادية درجة من الصغر حتى أن فحصها بالميكروسكوب يفشل فى تحديد مواضع الجينات المنفصلة عن بعضها •

(★) الآونس وحدة وزن تساوى ٢٨٫٣٥ جراما (المترجم) •

الجينات يتحكم أيضا فى كل خطوة من خطوات النمو « من الداخل » ويرسم ملامح هيكل الجسم ، بل ويتحكم الى حد كبير فى السلوك .

ولكن ما هى ماهية الجين نفسه ؟ هل ينبغى النظر اليـــه باعتباره « حيوانا » معقدا يمكن تقسيمه الى وحدات بيــولوجية أصـــغر حجما ؟ والجواب هو النفى قطعيا ، فالجين هو أصغر وحدة فى الكائن الحى وأكثر من ذلك فى حين أنه من المؤكد أن الجينات تمتلك كافة الخصائص التى تميز المادة التى بها روح عن المادة الميتة فليس هناك أدنى شك فى أنها تتصل من ناحية أخرى بالجزيئات المعقدة (مثل جزيئات البروتين) التى تخضع لكافة قوانين الكيمياء العادية المعروفة .

وبعبارة أخرى يبدو **أن الجين ينطوى على الحلقة المفقـــودة بين المادة العضوية وغير العضوية ، أو « الجزىء الحى » الذى جال بخاطرنا فى بداية هذا الفصل .**

والواقع أننا لو تأملنا مغزى وجود الجينات التى تحمل كافة الصفات النوعية لأى كائن بغير انحراف تقريبا ولآلاف الأجيال وتأملنا من ناحية أخرى الضآلة النسبية لعدد الذرات المفردة التى يتكون منهـــا الجين ، لما وجدنا مبررا لعدم اعتباره هيكلا محكما تستقر كل ذرة أو مجموعة من الذرات بمقتضاه فى مكانها المحدد سلفا .

ونستطيع الآن أن نفهم الفارق بين صفات الجينات المختلفة والتى تنعكس فى الاختلاف الخارجى بين المخلوقات الناشئة بناء على أوامر هذه الجينات على أساس من اختلاف توزيع الذرات فى بنية الجين .

وكمثال بسيط دعنا نتـــأمل فى جزىء تى·ان·تى (ثالث نتريت التولوين) ، أو المادة المتفجرة التى لعبت دورا بارزا فى الحروب فى الحربين الماضيتين . ويتكون جزىء تى·ان·تى من ٧ ذرات كربون ، و ٥ ذرات هيدروجين ، و ٣ ذرات نيتروجين ، و ٦ ذلات اكسجين مرتبة وفقا لأحد الأنظمة التالية :

α β γ

ويكمن الفارق بين الثلاثة أنظمة فى الشكل الذى ترتبط به مجموعات N ≷ O_2 بحلقة الكربون ، ويرمز الى المادة الناتجة عادة ب a (TNT) أو (TNT) B أو (TNT) γ . ويمكن تخليق هذه الأشكال كلهـا فى معمل الكيمياء . وكلها ذات طبيعة متفجرة ولكنها تختلف قليلا فى كثافتها ، وقابليتها للذوبان ، ونقطة انصهارها ، وقوتها التفجيرية .. الخ .

وباستخدام الطرق القياسية فى الكيمياء يستطيع المرء أن ينقـل مجموعة O_2 ≷ N من مكان الى آخر فى الجزىء بسهولة ومن ثم يمكن تحويل أحد أنواع مادة ال تى. ان. تى الى نوع آخر . وهناك فى الكيمياء كثير من الأمثلة الشائعة جدا من هذا النوع . وكلما زاد حجم الجزىء المقصود بالعملية تعددت الأنواع التى يمكن الحصول عليها (الصور الأيسومرية) (*) بهذه الطريقة .

واذا نظرنا الى الجين باعتباره جزيئا عملاقا يتكون من مليون ذرة يصبح عدد احتمالات اختلاف ترتيب المجموعات الذرية فى أماكن مختلفة من الجزىء كبيرا جدا .

ويمكن النظر الى الجين بوصفه سلسلة من المجموعة الذرية المتكررة دوريا مع مجموعات أخرى مرتبطة بها تماما كالحلى المتصلة ببعضها فى سوار جميل ، والواقع أن التقدم الأخير فى الكيمياء العضوية يسمح لنـا بأن نرسم صورة دقيقة لهذا السوار الوراثى الجميل . وهو يتكون من ذرات الكربون . والنيتروجين ، والفوسفور ، والاكسجين ، والهيدروجين ويعرف بالحامض النووى الريبوزى .

وفى شكل (١٠١) ترى صورة سيريالية الى حد ما (مع حذف ذرات النيتروجين والاكسجين) من الجزء من السوار الوراثى الذى يحدد لون عينى الطفل الوليد . ونرى من الوحدات الأربع أن عينا الطفل لونهـا أزرق .

وبتغيير مواضع الحلقات المختلفة من مكان الى آخر نستطيع الحصول على تشكيلة لا نهائية تقريبا من التوزيعات المختلفة .

لذا فان سوارا يتكون من ١٠ حلقات مختلفة على سبيل المثال يمكن أن نعيـد ترتيبـه فى ١ × ٢ × ٣ × ٤ × ٥ × ٦ × ٧ × ٨ × ٩ × ١٠ = ٣٫٦٢٨٫٨٠٠ ترتيبا مختلفا .

واذا كانت بعض الحلقات صنوا لبعضها الآخر انخفض عدد الأشكال المختلفة التى يمكن الحصول عليها لذا فان كان عـدد أنواع الحلقـات ٥ (اثنتان من كل نوع) فسوف لا يزيد عدد الاحتمالات عن ١١٣٫٤٠٠

(*) ايسومرية (متشاكلة التركيب) .

احتمالا مختلفا · ومع ذلك يزيد عدد الاحتمالات كثيرا مع زيادة أنواع الحلقات فلو كان لدينا مثـــلا ٢٥ نوعا كل خمس منها من نوع واحـــد يصبح عدد التوزيعات الممكنة ٦٫٢٣ × ١٠^٣١ تقريبا ! ·

(شكل رقم ١٠١)

جزء من « السواد الوراثى الجميل » (جزىء من حمض نووى ريبوزى) يحدد لون عينى الطفل (مع التبسيط) ·

وهكذا نرى أن عدد التوليفات المختلفة التى يمكن الحصول عليهـا باعادة ترتيب « الحلقات » المختلفة بين عدد من « أماكن التعليق » المختلفة يكون هائلا جدا الى درجة تكفى لتبرير وجود كل هذه الأنواع من صور الحياة ، وليس هذا فحسب ولكنه يدل على الصور اللانهائية من الحيوانات والنباتات التى يمكن أن نصنعها من خيالنا ·

ومن النقاط البالغة الأهمية والخاصة بتــوزيع الحلقات المحـــددة للصفات على امتداد الجزىء الجينى الشبيه في شكله بالألياف أن هذا التوزيع يخضع للتغيرات العفوية التى تؤدى الى تغييرات ظاهرة موازية لها فى النظام بأكمله ·

وعند ارتفاع درجة الحرارة الى حد معين تصبح الحركة الترددية لهذه الأجسام الجزيئية كافية لتفتيتها الى قطع منفصلة ـ وتعرف هذه العملية بالتحلل الحرارى (انظر الفصل الثامن) · ولكن عند درجات أقل من الحرارة حيث تحتفظ الجزيئات ككل بسلامتها وتكاملها ربما أدت الحركة الحرارية الى تغير داخلى ما فى البناء الجزيئى · ونستطيع على سبيل المثال أن نتخيل أن الجزىء يلتوى بشكل يجعل احدى الحلقات المتصلة بنقطة معينة تقترب من نقطة أخرى معينة فى جسم وفى هذه الحالة يكون من السهل أحيانا أن تنفصل الحلقة عن موضعها السابق وترتبط بالموضع الجديد ·

---

(١١) يشير مصطلح « الايسومرية » كما ذكرنا من قبل الى الجزيئات المكونة من نفس الذرات وان كانت مرتبة ترتيبا مختلفا ·

ان هذه الظاهرة المعروفة **بالتحولات الأيسومرية** (١١) ظاهرة مشهورة فى الكيمياء العادية على نطاق البنية الجزيئية البسيطة نسبيا وهى تخضع للقوانين الكيميائية الحركية الرئيسية **والتى يزيد فيها معـــدل التفاعل بنسبة قدرها ٢ لكل ارتفاع حرارى قدره ١٠° مئوية** ، كما تخضع لجميع التفاعلات الكيميائية كذلك ٠

وفى **الجزيئات الجينية** حيث تتعقد البنية حتى أنها قد تتحدى أفضل الجهود التى يبذلها علماء الكيمياء العضوية والتى سوف يبذلونهـــا فى المستقبل لا يوجد حتى الآن ما يؤكد حدوث التغييرا تالأيسومرية بالطرق المباشرة للتحليل الكيميائى ٠ على أن لدينا فى هذه الحالة شـــيئا يمكن اعتباره من احدى وجهات النظر أفضـــل بكثير من التحليل الكيميائى المعملى ٠ ولو حدث مثل هذا التغير الأيسومرى فى أحد الجينات الموجودة فى مشيج ذكرى أو أنثوى وهما اللذان يؤدى اتحادهما الى خروج مخلوق جديد الى حيز الوجود فسوف يتكرر بأمانة فى العمليات اللاحقة من الانقسام الجينى والخلوى ، وسوف يؤثر كذلك على بعض الصفات المظهرية التى يمكن ملاحظتها فى الحيوان أو النبات الناشىء ٠

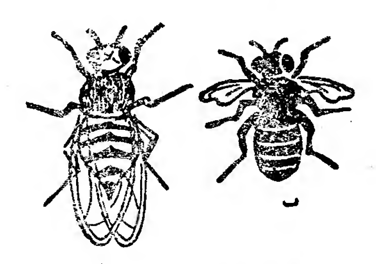
والحق أن احدى أهم نتائج الدراسات الجينيـــــة يكمن فى حقيقة (اكتشفها عام ١٩٠٢ العالم البيولوجى الألمانى دى فريز) ومؤداها أن : **التغيرات الوراثية التلقائية التى تحدث فى نظام حى تقع دائما على شكل قفزات متقطعة تعرف بالطفرات** ٠

وكمثال على ذلك تأمل تجارب التكاثر فى ذبابة الفاكهة (دروسوفيلا ميلانوجاستر) التى ذكرناها من قبل ٠ ان النوع البرى من هذه الحشرة يتميز بأجسام رمادية وأجنحة طويلة وكلما حاولت الامساك باحداها فى الحديقة تستطيع أن تكون واثقا تماما من توفر هذه الصفات فيها ٠ ومع ذلك فان تكاثر ذبابة الفاكهة تحت الظروف المعملية جيلا بعد جيل يجعل من الممكن أن يحصل المرء فى مرة من المرات على « نوع غريب » من هذه الذبابة ذى أجنحة قصيرة الى درجة غير طبيعية وجسم أسود تماما تقريبا (شكل ١٠٢) ٠

والمهم أنك ربما تعجز عن الحصول على أفراد أخرى من الذباب ذى ألوان رمادية مظللة أو أجنحة متفاوتة الطول مع هذه الذبابة العجيبة ، أى أنك لن تجد أنواعا من الذبابة متدرجة فى أشكالها على مراحل من الشكل « الطبيعى » حتى الحشرة المتطفرة « ذات الجسم الأسود تقريبـــا البالغة القصر) ٠ وكقاعدة يكون كل أعضاء الجيل الجديد (وقد يبلغون المئات !) متساوين فى درجة اللون الرمادى وطول الأجنحة تقريبا ، مع وجود ذبابة واحدة فقط (أو القليل منها) مختلفة **بالكامل** عن الباقين ٠

فاما أن يكون التغير غير جوهرى واما أن يـــكون تغيرا هائلا تماما (**الطفرة**) • وقد لوحظت حالات مماثلة فى مئات من التجارب الأخرى ، فمثلا عمى الألوان لا ينتقل حتما بالوراثة وثمة حتما حالات يولد فيهـــا طفل مصاب به دون أن يـــكون للأبوين « ذنب » فى ذلك ولا للأجداد أيضا • وفى حالة عمى الألوان فى الرجال تماما كما فى قصر الأجنحة فى الذبابة يكون المبدأ « كل شيء أو لا شيء » والمسألة لا علاقة لها بأفضلية تمييز الألوان عن عدم تمييزها سواء استطاع الفرد ذلك أم لم يستطع •

وكما يعرف كل من سمع اسم « تشارلز داروين » ، تؤدى هـــذه التغيرات فى الصفات مصحوبة (**بالصراع من أجل البقاء و البقاء للأصلح** الى **ظاهرة النشوء والارتقاء** (١٢) المستمر • وهى المسئولة عن الحقيقة التى مفادها أن المحار البسيط الذى كان يوما ما متربعا على عرش الطبيعة منذ عدة بلايين سنة قد تطور الى مخلوق عالى الذكاء مثلك فاستطاع أن يقرأ ويستوعب حتى هذا الكتاب المتقدم ، الذى بين يديك •



(شكل رقم ١٠٢)

طفرة تلقائية (ذاتية) فى ذبابة الفاكهة
(ا) نوع عاد : جسم رمادى واجنحة طويلة •
(ب) النوع الجديد : جسم اسود واجنحة قصيرة

ويمكن فهم التغيرات الفجائية فى الصفات الموروثة على نحو تام من حيث التغيرات الأيسومرية فى الجزيئات الجينية كما ذكرنا سابقا فالواقع أنه لو غيرت الحلقات المحددة للصفات مكانها فانها لا تفعل ذلك بين بين ، فهى اما أن تبقى فى مكانها القديم ، أو ترتبط تماما بالمكان الجديد وهى بالتالى تحدث تغييرا فجائيا فى صفات النظام •

ومما أيد كثيرا وجهة النظر القائلة بأن « الطفرات » تعود الى تغيرات أيسومرية فى الجزيء الجينى ، أن ازدياد معدل الطفرات يعتمد على درجة حرارة النطاق الذى تتخلق فيه الحيوانات أو النباتات • والواقع أن التجارب

---

(١٢) والاختلاف الوحيد الذى استحدثه اكتشـــاف الطفرات فى النظرية الكلاسيكية الداروينية هو ان التطور يرجع الى تغيرات فجائية متقطعة وليس الى التغيرات البســيطة المستمرة التى كانت فى ذهن داروين •

التى قام بها كل من « تيموفيف » و « زيمر » على أثر الحرارة على معدل الطفرات تشير الى أنه باستثناء بعض العوامل الاضافية التى تنشأ عن الوسط المحيط وغير ذلك تخضع الطفرة لنفس القوانين الفيزيوكيميائية الأساسية التى تتحكم فى التفاعل الكيميائى العادى · وقد حدا هـذا الاكتشاف بالعـالم « ماكس ديلبروك » (فيزيائى نظرى فى السابق ، وعالم جينات تطبيقى فى الحاضر) الى تبنى الآراء التى كانت فاتحة عهد جديد وتعنى التـكافؤ بين ظـاهرة الطفرة بيولوجيا وعمليـة التغيرات الأيسومرية فى الجزىء وهى ظاهرة فيزيوكيميائية بحتة ·

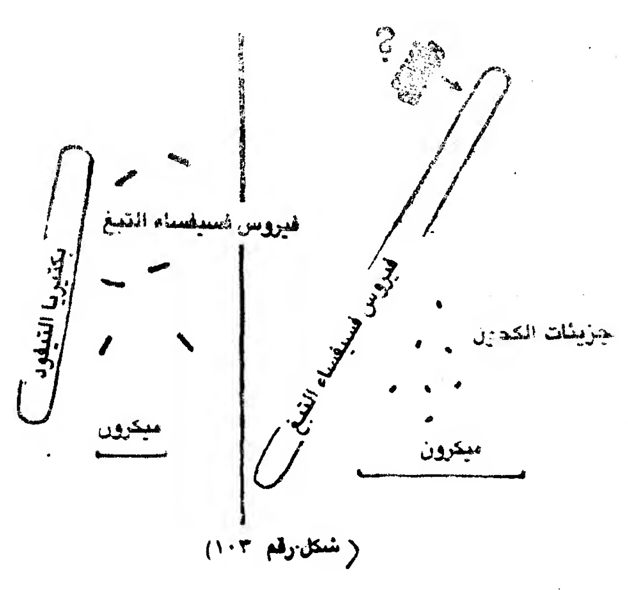
ولا يزال هناك الكثير مما يمكن قوله عن الأساس الفيزيائى لنظرية الجين ولا سيما الدليل الهام الذى وفرته لنا دراسة الطفرة الناشئة عن أشعة اكس والاشعاعات الأخرى ، على أن ما قلناه بالفعل يكفى على ما يبدو لاقناع القارىء بأن **العلم يقف الآن على عتبة التفسـير الفيزيقى البحت لظاهرة الحياة التى يكتنفها بعض الغموض ·**

ولا يصح الانتهاء من هذا الفصل دون الاشـارة الى الوحـدات البيولوجية المعروفة **بالفيروسات** التى يظهر أنها **جينات حرة** غير محاطة بخلايا · وحتى عهد قريب كان البيولوجيون يعتقـدون أن أبسط صور الحياة يتمثل فى أنواع **البكتريا** المختلفة ، أو الكائنات الحية المجهرية (وحيدة الخلية) التى تنمو وتتضاعف فى أنسجة الحيوان والنبات والتى تؤدى فى بعض الأحوال الى الاصابة بأمراض مختلفـة · وقد أثبتت الدراسات المجهرية على سبيل المثال أن حمى التيفود تنشأ عن نوع خاص من البكتريا ذى أجسام شديدة الاستطالة وطولها يقرب من ٣ ميكرون (μ) (١٣) ، وعرضها حوالى ½ (μ)، بينما تكون بكتيريا الحمى القرمزية ذات خلايا كروية يبلغ طول قطرها ٢ ميكرون تقريبا · على أن هنـاك عددا من الأمراض (مثل الانفلونزا فى الانسان وداء الفسيفساء فى التبغ) فشلت الملاحظات الميكروسكوبية فى ارجاع سبب الاصابة بهـا الى أى بكتيريا عادية · ورغم ذلك فمن المعروف أن هذه الأمراض « اللابكتيرية » الخاصة تنتقل من جسم المريض الى الصحيح بنفس الأسلوب « المعدى » الشائع فى الأمراض العادية ، وحيث أن « العدوى » المنقولة تنتشر بسرعة فى كامل جسم الفرد المصاب فقد كان من المحتم أن نفترض أن هناك أنواعا خاصة من الوحدات البيولوجية هى التى تحمل العدوى وقد سـميت **بالفيروسات ·**

---

(١٣) الميكرون وحدة قياس تساوى $\frac{1}{1000}$ من الملليمتر أو ٠٫٠٠٠١ من السنتيمتر ·

على أن اكتشاف **التقنية الألتراميكروسكوبية** (*) (باستخدام الأشعة الضوئية فوق البنفسجية) وتطويرها لم يتم منذ عهـــد قريب نوعا ، وخاصة اختراع الميكروسكوب الألكترونى (حيث يسمح استخدام الأطياف الالكترونية بدرجة تكبير تفوق بكثير نظيرها فى الأشعة الضوئية العادية ، وقد تمكن علماء البيولوجيا بفضل هذا الاختراع من رؤية تفاصيل البناء الداخلى للفيروس وهو ما كان متعذرا قبل ذلك ٠



(شكل رقم ١٠٣)

وقد وجد أن الفيروسات ، على اختلافها ، عبارة عن جسيمات متمايزة تتساوى جميعـــا فى الحجم الذى يكون أصغر من البـــكتيريا العادية (شكل ١٠٣) ٠ ومن ثم فان جسيمات فيروس الأنفلونزا ذات شـــكل كروى دقيق بقطر طوله ١ر μ ، بينما يبـــلغ طـــول فيروس الفسيفساء الاسطوانى العضوى ٢٨٠ر μ أما العرض فيكون ٠١٥ر μ

ويعتبر فيروس فسيفساء التبغ حتى الآن أصغر نوع معروف من الوحدات الحية ٠ فاذا تذكرنا أن قطر الذرة حوالى ٠٠٠٣ر μ نستنتج أن فيروس الفسيفساء يساوى فى عرضه خمسين ذرة فقط تقريبا وفى

(★) أى فوق المجهرية (المترجم) ٠

طوله حوالى ألف ذرة وعلى امتداد محوره نجد أن حجمه لا يزيد عن بضعة الملايين من الذرات (١٤) ! ٠

ويذكرنا هذا الرقم فى الحال برقم مماثل يعبر عن عدد الذرات فى جين مفرد ، ويوحى بامكانية اعتبار أن جسيمات الفيروسات « جينات حرة » تقبل الاتحاد مع بعضها فى مستعمرات مستطيلة يطلق عليها الكروموزومات ، وتحيط نفسها بكتلة ثقيلة نسبيا من البروتوبلازم الخلوى ٠

والواقع أن عملية التكاثر الفيروسى تخضع على ما يبدو لنفس القواعد التى تخضع لها الكروموزومات فى التضاعف عن طريق انقسام الخلايا :

حيث ينقسم الجسم بأكمله على امتداد محوره بحيث يسمح بنشوء جسيمين فيروسيين كاملى الحجم ٠ والواضح أن الأساس فى عملية التكاثر (الموضحة فى شكل ٩١ لحالة افتراضية من تضاعف الكحول) أن تجتذب المجموعات الفيروسية المختلفة الواقعة على امتداد الجزىء المعقد من الخارج مجموعات ذرية مماثلة من الوسط المحيط بها وترتب الأخيرة نفسها بنفس النظام الجزيئى الأصلى ٠ وعندما تنتهى عملية الترتيب ينفصل الجزىء الجديد ، الذى يكون قد بلغ مرحلة النضج بالفعل ، مبتعدا عن الجزىء الأصلى ٠ ويبدو أن عملية « التكاثر » المعتادة لا تحدث فى النظم الحية الأولية ، حيث تولد الأفراد الجديدة « عضوا عضوا » على امتداد جسم النظام الأصلى ببساطة ٠ ويمكن ايضاح الأمر عن طريق تخيل طفل صغير ينمو خارج جسم الأم ملتصقا بها ، بحيث ينفصل عنها ويمشى مبتعدا عن جسمها حين يكتمل نموه فيصبح رجلا أو امرأة (سوف لا أرسم هذه الصورة على الرغم من جاذبية الفكرة) ٠ وبديهى أنه حتى يحدث هذا التكاثر لابد وأن يمضى النمو فى وسط نصف عضوى خاص ، والواقع أنه على النقيض من البكتريا التى تمتلك بروتوبلازما خاصة بها لا تستطيع الجسيمات الفيروسية أن تتكاثر الا داخل بروتوبلازم النظم الأخرى لكونها تعنى عناية بالغة باختيار « غذائها » ٠

ومن الصفات الشائعة الأخرى فى الفيروسات أنها **تخضع للطفرات**

---

(١٤) قد يكرن عدد الذرات التى يتألف منها جسم الفيروس عمليا أقل من ذلك بكثير حيث انه من الممكن جدا أن يكون « فارغا من الداخل » باعتباره يتكون من سلسلة جزيئية ملتوية من النوع الموضح فى شكل ١٠١ ٠ فاذا افترضنا أن فيروس التبغ يكون بهذا الشكل (المرسوم فى شكل ١٠٣) فلابد أن مجموعات الفيروسات المختلفة لا توجد الا على سطح الاسطوانة وبذا ينخفض العدد الكلى للذرات فى كل جسيم الى ما لا يزيد عن بضع مئات الآلاف ، وينطبق نفس المنطق أيضا على عدد الذرات فى الجين المفرد بالطبع ٠

وأن الأفراد المتطفرة تنقل الصفات المكتسبة حديثا لذرياتها طبقا لكافة قوانين الجينات المعروفة • ولقد نجح علماء البيولوجيا ، فى الواقع ، فى تمييز العديد من السلالات الوراثية لنفس النوع من الفيروس واقتفاء أثر « التطور العرقى » • وعندما تجتاح أوبئة الانفلونزا المجتمعات تستطيع أن تكون على ثقة من أن السبب فيها يرجع الى نوع جديد من فيروس الانفلونزا المتطفرة التى لم يستطع الجسم البشرى أن يفرز لها النوع الذى يتلاءم معها من المناعة •

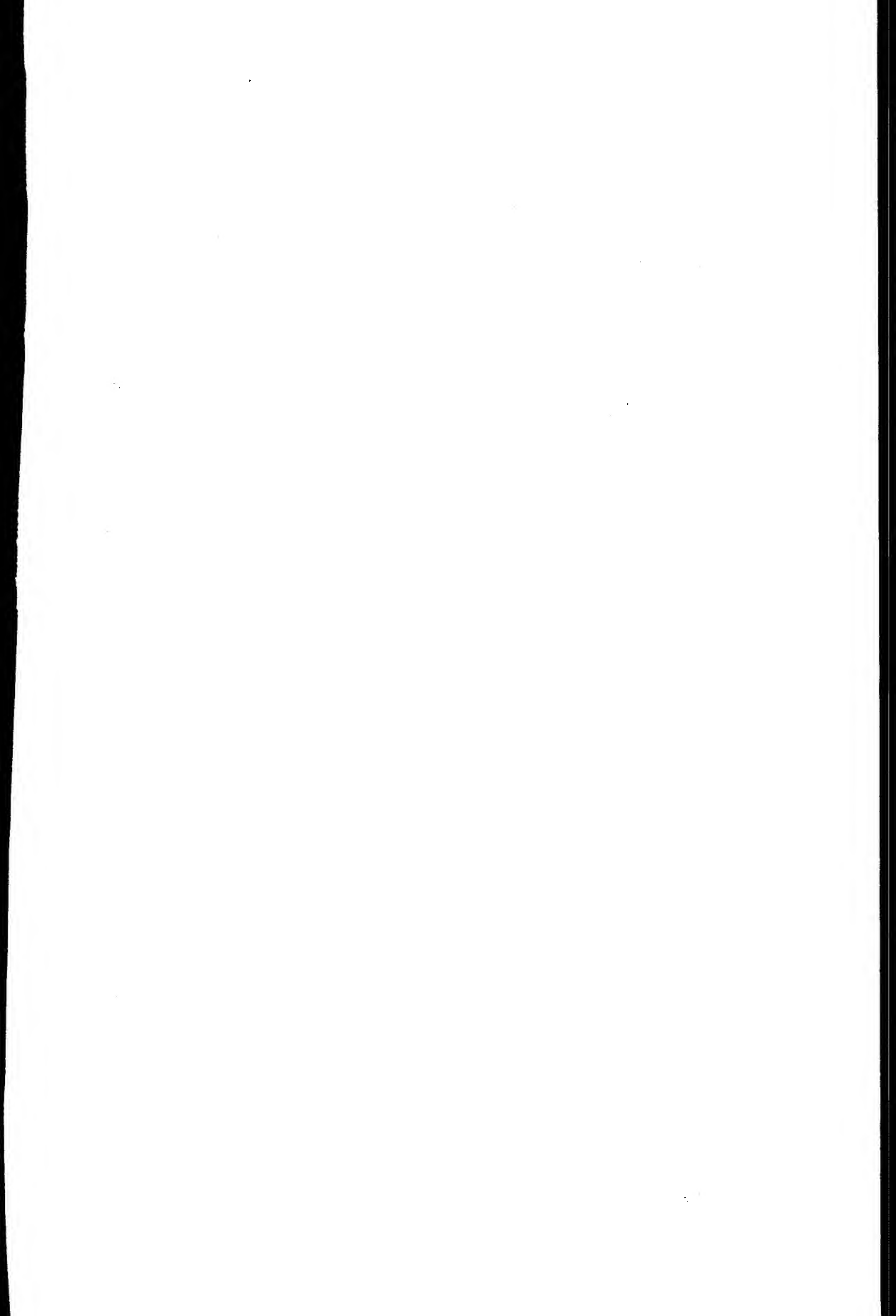
لقد ناقشنا فى الصفحات السابقة عددا من الحجج القوية التى تؤكد **أن الجسيمات الفيروسية يجب النظر اليها بوصفها وحدات حية** • ويمكننا الآن أن نؤكد بنفس القدر من الثقة أن **هذه الجسيمات هى فى الوقت ذاته جزيئات كيميائية عادية** تخضع لكافة قوانين وقواعد الفيزياء والكيمياء • والواقع أن الدراسات الكيميائية البحتة لمادة الفيروسات تثبت أى أن فيروس يمكن اعتباره من المركبات الكيميائية من حيث التركيب ، ويمكن أن يعامل معاملة المركبات العضوية المعقدة (ولكن غير الحية) ، وأن هذه الفيروسات تخضع لمختلف أنواع التفاعلات التبادلية • ويبدو فى الواقع أن توصل الكيميائيين البيولوجيين الى كتابة رمز الفيروس بنفس القدر من البساطة الذى يكتبون به صيغة الكحول ليس الا مسألة وقت • والأعجب من ذلك **أن الجسيمات الفيروسية لنوع ما تتساوى فى الحجم تماما** مع بعضها لآخر ذرة •

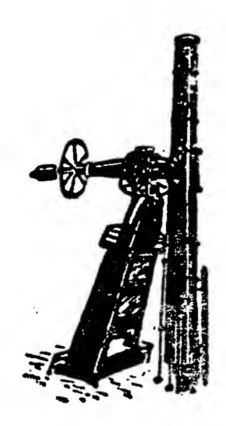
ولقد اتضح فعلا أن الفيروسات التى تحرم من الوسط الغذائى الذى يناسب بقاءها ترتب نفسها فى الأنماط المعتادة للبلورات العادية • لذا فان الفيروسات المعروفة ب « فيروس وقف نمو الطماطم » تتبلور على شكل معين اثنا عشرى جميل ! وبمقدورك أن تضع هذه البلورة فى نفس الفئة مع مجموعة الفلسبار والملح الصخرى ، ولكن تعريض الطماطم لها يجعلها تتحول الى حشد من المخلوقات الحية •

لقد خطا كل من « هينز فرانكل كونترات » و « روبلى ويليامز » خطوة هامة تعتبر أولى خطوات تخليق المادة العضوية الحية من مواد غير عضوية وذلك فى معهد الفيروسات بجامعة كاليفورنيا فقد نجحا بالتجربة فى تقسيم فيروس فسيفساء التبغ الى نصفين كل منهما يعتبر جزيئا من الجزيئات العضوية وان كان أكثر تعقيدا الى حد ما • ولقد كان من المعروف لفترة طويلة أن هذا الفيروس يتألف من حزمة من الجزيئات الطويلة المستقيمة التى تعتبر المادة المنظمة (وهى الحامض النووى الريبوزى) ويحيط بهذه الحزمة جزيئات بروتينية طويلة ملتفة حولها فيما يشبه ملفا من السلك الكهربى المحيط بالمغناطيسى فى النظم الالكترومغناطيسية •

وتجح « فرانكل كونترات » و « ويليامز » فى تقســـيم هذه الجسيمات الفيروسية باستخدام مختلف منشطات التفاعل الكيميائى (المفـــاعلات) فاستطاعا الفصل بين الحامض الريبوزى والجزيئات البروتينية دون افساد أى منها · وبذلك حصلا فى أنبوبة اختبـــار على محلول مائى للحامض النووى الريبوزى وفى أنبوبة أخرى على محلول الجزيئات البروتينية · ولقد اتضح من الميكروسكوبات الالكترونية أن أنابيب الاختبار لا تحتوى الا على جزيئات هاتين المادتين وان كانت ميتة ·

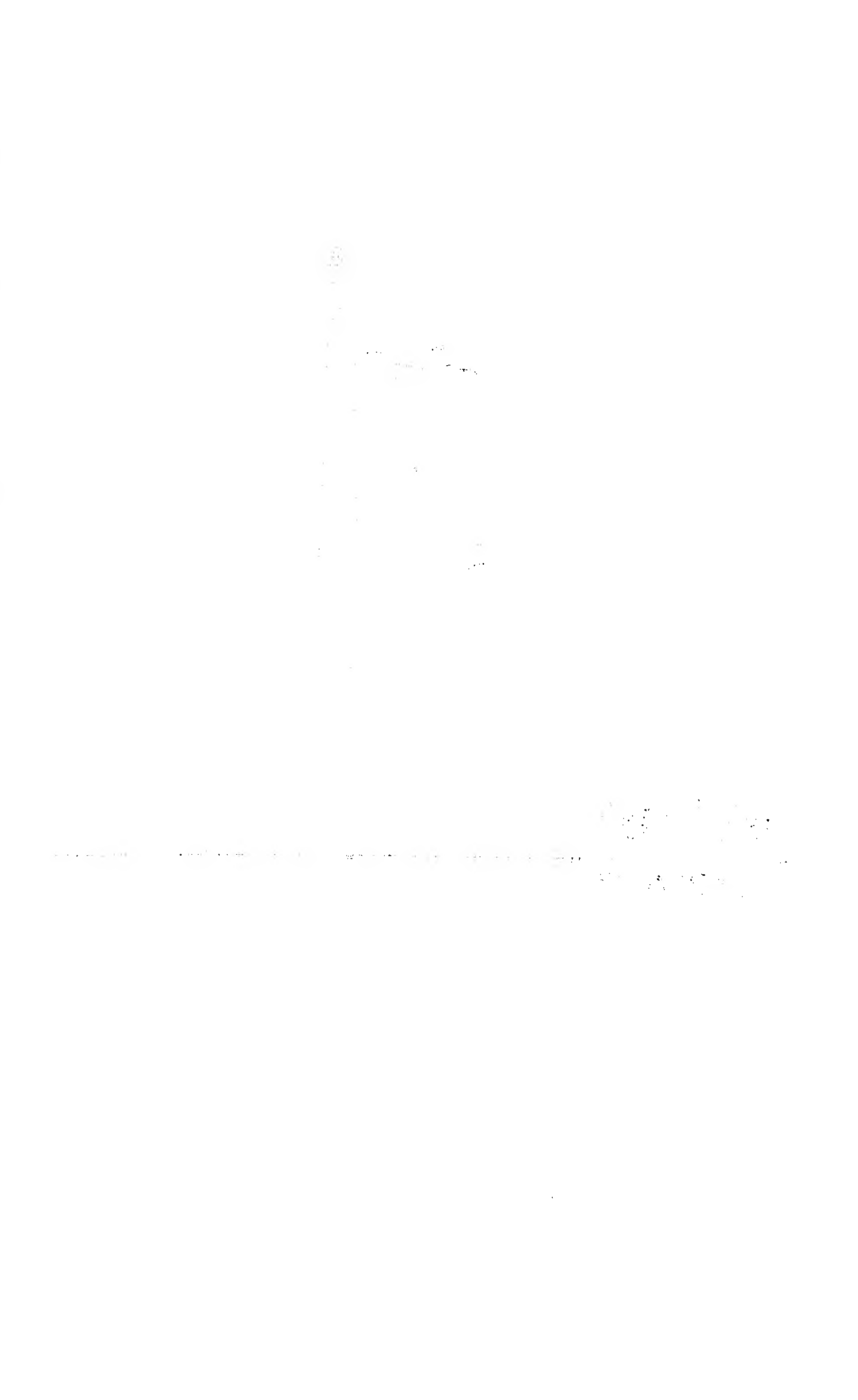
ولكن عند الجمع بين المحلولين بدأت جزيئات الحامض النووى الريبوزى فى الاتحاد فى مجموعات كل منها يتكون من ٢٤ جزيئا فى حزمة واحدة ثم بدأت جزيئات البروتين فى الالتفاف حولها لتعطى فى النهاية صـورة طبق الأصل من الجسيم الفيروسى الذى بدأت به التجربة · وعند وضع هذه الفيروسات على أوراق نبات التبغ (هذه الفيروسات التى قسمت ثم جمعت أجزاؤها ثانية) تسببت فى اصابة التبغ بداء الفسيفساء وكأنها لم تتعرض لأى تقسيم أو يعتورها التغير · ولقد حصل العالمان فى هذه التجارب على المكونات الكيميائية للفيروس عن طريق تقسيم الكائن الحى · ويبقى الآن أن ينجح علماء الكيمياء الحيوية فى وضع أيديهم على الطرق التى يمكن اســـتخدامها فى تركيب كل من الحمض النووى الريبـوزى وجزيئات البروتين من مواد كيميائية عادية · وعلى الرغم من أنهم حتى الآن (١٩٦٥) لم ينجحوا الا فى تركيب القليل من جزيئات هاتين المادتين فلا يوجد ما يمنع مع مرور الوقت من امكان تخليق هـــذه الجزيئات من العناصر البسيطة · ثم بجمعها معا سنجد لدينا جسيما فيروسيا من صنع الانسان ·





الجزء الرابع

الكون الأكبر



الفصل العاشر

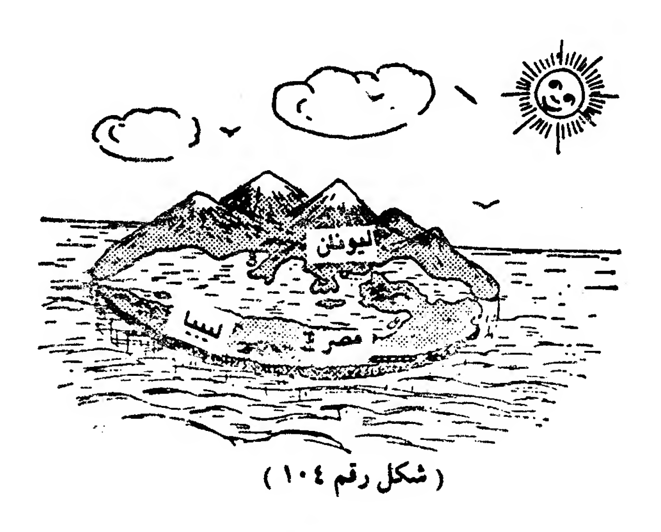
آفاق غير محدودة

١ ـ الأرض وما يجاورها :

والآن بعد عودتنا من رحلتنا فى مملكة الجزيئات والذرات والأنوية نعود الى موضوع أكثر شيوعا بيننا ، وسنبدأ رحلة جديدة ولكن فى الاتجاه العكسى هذه المرة ، أى نحو النجوم والسحب النجمية والحدود المترامية للكون . وهنا فى حالة الكون الأكبر نجد أن التقدم العلمى يمضى بنا خطوات أبعد وأبعد عن الأمور اليومية المعتادة ويفتح أمامنا بالتدريج آفاقا لا حدود لها .

اعتقد الانسان فى فجر الحضارة أن هـذا الشىء الذى نطلق عليه الكون صغير الى درجة مضحكة ، وكان يتخيل أن الأرض قرص مسطح طاف على سطح محيط الكون . وتحت هذا العالم لم يكن هناك (من وجهة نظره) الا الماء على أعماق سحيقة الى أقصى ما يمكن للانسان أن يتخيله ومن فوقه السماء مستقر الآلهة ، وكان لهذا القرص من الاتساع ما يكفيه لحمل كل الأراضى التى عرفها علماء الجغرافيا فى ذلك العصر : أى شواطىء البحر المتوسط والمناطق المطلة عليه من أوروبا وافريقيا وجزء من آسيا ، وكان الجزء الشمالى من القرص محدودا بسلسلة من الجبال المرتفعة ومن ورائها تختفى الشمس أثناء فترة الليل لتهجع على سطح المحيط الكونى . ونرى من شكل ١٠٤ صورة تعطينا فكرة دقيقة الى حد كبير عن صورة العالم

فى عيون أهل العصور القديمة ، ولكن فى القرن الثالث قبل مجىء السيد المسيح ظهر رجل عارض هذه الصورة المبسطة للعالم التى كانت تلقى قبولا عاما بين أهل زمانه · وكان هذا الرجل هو الفيلسوف الاغريقى (هكذا كانوا يسمون العلماء فى ذلك الوقت) أرسطو ·

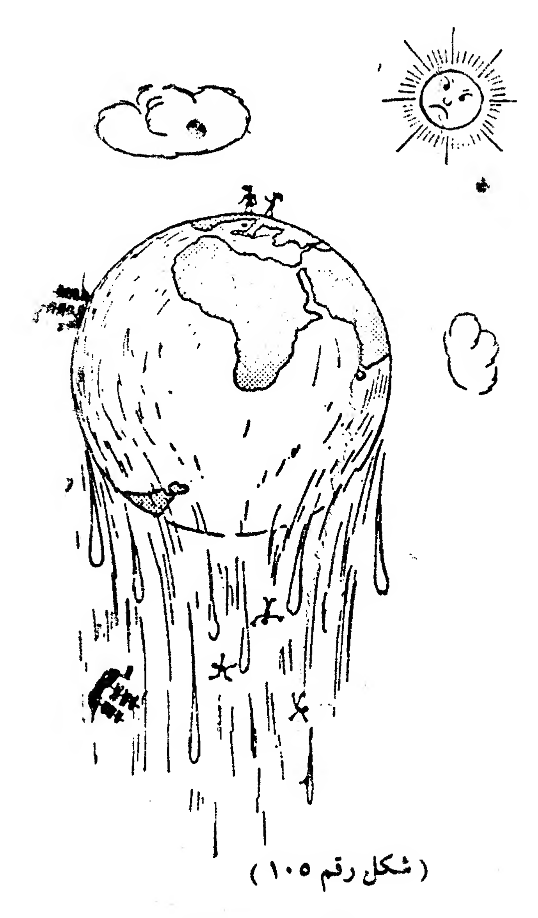


(شكل رقم ١٠٤)

العالم كما كان يتخيله القدماء

وقد طرح أرسطو فى كتابه « عن السماء » نظرية تنادى بأن الأرض كروية ، تغطيها اليابسة فى أجزاء والماء فى أجزاء أخرى ويحيط بهـــا الهواء · وأيد هذه النظرة بعدة أدلة تبدو لنا الآن بديهة حيث أشار الى أن السفن تتدرج فى الاختفاء عن الابصار فيما وراء الأفق فيختفى الجسم أولا ويظل الصارى ظاهرا كما لو كان خارجا من الماء مما يدل على أن سطح الأرض مقوس وليس مسطحا ، وأرجع خسوف القمر الى سقوط ظل الأرض على سطح هذا التابع ، وحيث ان هذا الظل دائرى فلابد أن تكون الأرض مستديرة كذلك · ولكن لم يصدقه فى ذلك الوقت الا قليلا من الناس ، فلم يكن بمقـــدور أهل الأرض أن يفهموا كيف يمكن أن يســـير الناس الموجودون على الجانب الآخر من الأرض (وكانوا يطلقون عليهم المقابلون ، وهم الاستراليون فى العصر الحديث) فى مثل هذا الوضع المقلوب دون أن يسقطوا · وكيف تحتفظ الأرض بماء البحار فى هذه الأجزاء اذا كانت الأرض مستديرة حقا ؟ (شكل ١٠٥) ·

فلم يكن الناس يدركون فى ذلك الوقت أن الأشياء تسقط الى أسفل بفعل الجاذبية الأرضية ، اذ كان « أعلى » و « أسفل » بالنسبة لهمـــا اتجاهين مطلقين لا يتغيران بتغيير المكان ·



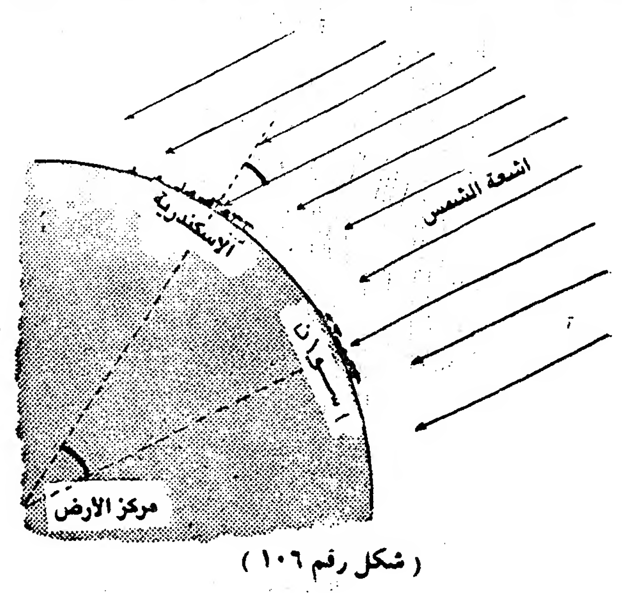
(شكل رقم ١٠٥)

الاعتراض على فكرة كروية الأرض

ويبدو أن فكرة « أعلى » الذى يصبح « أسفل » وأسفل الذى يصبح أعلى عندما تنتقل الى نصف الكرة الأرضية الآخر فكرة بلهاء مثلما تبدو للبعض نتائج النظرية النسبية التى أبدعها أينشتين فى عصرنا هذا . وكان سقوط الأجسام الثقيلة لا يفسر بقوة جذب لها كما نقول الآن ولكن « بالميل الطبيعى » فى كل الأشياء للاتجاه الى أسفل ، وهكذا اذا خاطرت بالذهاب الى النصف الآخر من الأرض (وكانت كروية) فلابد من سقوطك الى أسفل حيث السماء الزرقاء ! فما أقوى المعارضة التى واجهت هذه الفكرة الجديدة ! لدرجة أنك ترى فى كثير من الكتب التى طبعت فى القرن الخامس أى بعد ألفى عام من أرسطو رسوما يظهر فيها سكان الجزء المقابل من الأرض واقفين على رءوسهم على « أسفل » الكرة الأرضية ، كنوع من السخرية من الفكرة . وربما كان « كولمبس » العظيم نفســـه فى شك

من خطته عندما بدأ رحلته لاكتشاف « الطريق العكسى الى الهند » والواقع أنه لم ينجح فى ذلك لأن قارة أمريكا اعترضت سبيله ولم يتبدد هـــذا الشك بصفة نهائية الا بعد قيام الرحالة الشهير « فرناندو دى ماجالانس » (المعروف بماجيلان) برحلته البحرية حول العالم ٠

وحين أدرك البشر لأول مرة أن الأرض على شكل كرة عملاقة كان من الطبيعى لهم أن يتساءلوا عن حجمها بالنسبة لأجزاء العالم المعروفة فى هذا الوقت ٠ ولكن كيف يمكن قياس الأرض دون القيام برحلة حول العالم ، وهو ما كان أمرا بعيد المنال بالنسبة لفلاسفة الاغريق ٠



(شكل رقم ١٠٦)

حسن ٠٠ هناك حل ، وكان أول من اكتشفه العالم الشهير آنذاك « اراتوسثنيس » الذى عاش فى الاسكندرية : منارة الحضارة الاغريقية فى مصر ابان القرن الثالث قبل الميلاد فقد سمع من سكان مدينة « أسوان » جنوب نهر النيل والتى كانت تبعد مسافة ٥٠٠٠ ستاديوم عن الاسكندرية أنه عند الانقلاب الصيفى (*) تكون شمس الظهيرة عمودية تماما على الأرض بحيث تختفى ظلال الأجسام كلها ٠ ومن ناحية أخرى كان « اراتوسثنيس » يعرف أن شيئا من هذا القبيل لم يحدث أبدا فى الاسكندرية وأنه فى نفس اليوم تتحرك الأرض سبع درجات (أو $\frac{1}{٥٠}$ من محيط دائرة كاملة) بعيدا عن سمت الرأس (النقطة التى تعلو الرأس تماما) ٠ وبافتراض أن الأرض مستديرة فسر العالم السكندرى هذه الظاهرة تفسيرا سهلا

(*) فى ٢٢ يونية (حزيران) ٠

تستطيع أن تفهمه بمجرد النظر الى شكل (١٠٦) · والواقع أنه لما كانت الأرض تنحنى بين المدينتين فان أشعة الشمس التى تسقط عموديا فى « أسوان » لابد وأن تصل الى الأرض بزاوية معينة فى مدينة الاسكندرية التى تقع شمالا ، وتستطيع أن ترى من هذا الشكل أيضا أننا لو رسمنا خطين مستقيمين من مركز الأرض بحيث يمر أحدهما بالاسكندرية والآخر بمدينة « أسوان » فان زاوية التقاء الخطين (*) ستكون مساوية تماما للزاوية التى يصنعها تلاقى الخط المرسوم من مركز الأرض حتى الاسكندرية (أى الاتجاه العمودى فى الاسكندرية) مع أشعة الشمس فى نفس وقت تعامدها على « أسوان » مباشرة ·

وحيث ان هذه الزاوية تعادل $\frac{1}{٥٠}$ من دائرة كاملة فان المحيط الكلى للكرة الأرضية لابد وأنه يساوى ٥٠ ضعفا للمسافة بين المدينتين أو ٢٥٠٠٠ ستاديوم · والستاديوم المصرى حوالى $\frac{1}{١٠}$ ميل لذا فان المسافة تساوى ٢٥٠٠ ميل أو ٤٠٠٠ كم وهكذا يكون حساب « اراتوسثينس » قريبا جدا من أفضل التقديرات الحديثة ·

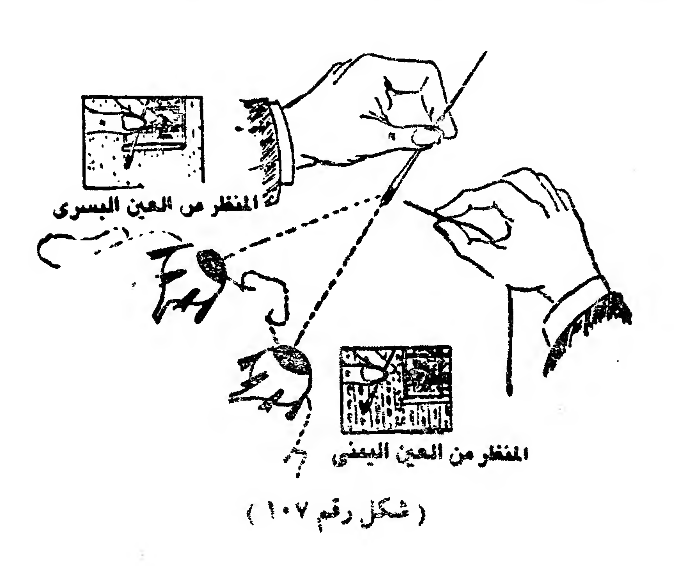
ولكن العبرة أساسا لم تكن فى دقة أول قياس للأرض ولكن فى ادراك مدى اتساعها ، وأن سطحها الاجمالى يبلغ مساحة تفوق مساحة الأرض المعروفة بمئات المرات مما أثار الدهشة وأخذ الناس يتساءلون عن مدى صحة تقديره ، وعما يكمن وراء حدود الأرض المعروفة لهم آنذاك ·· وهو أمر يشبه حيرتنا حينما نتحدث عن المسافات الفلكية ولابد أولا أن نتعرف على ما يطلقون عليه « **الازاحة المكانية** » **أو ببساطة اختلاف الوضع الزاوى أو الاختلاف الظاهرى للموضع Parallax**

وقد تبدو الكلمة مخيفة قليلا ولكنها فى الحقيقة غاية فى البساطة والنفع ، عندما نتحدث عن أبعاد الكون ·

ولنا أن نبدأ محاولتنا للتعرف على هذا المصطلح بمحاولة ادخال خيط فى ثقب ابرة : حاول أن تفعل ذلك باغلاق عين وفتح الأخرى وسرعان ما تجد أن المحاولة ستفشل ، فانك اما أن تدخل الخيط مسافة طويلة أكثر من اللازم فى الابرة أو تقف به قبل الثقب · فباستخدام عين واحدة لن تستطيع الحكم على المسافة بين الابرة والخيط ، ولكن باستخدام عينيك معا تستطيع ذلك بسهولة أو على الأقل ستتعلم بسهولة · فعندما تنظر الى جسم ما باستخدام عينيك الاثنين يتركز النظر تلقائيا على هذا الشىء وكلما كان أقرب كلما اقتربت عيناك من بعضهما بحيث أن الحركة العضلية المطلوبة لاحداث هذا الضبط تعطيك فكرة جيدة تماما عن المسافة ·

(*) زاوية محيطية (المترجم) ·

والآن اذا استخدمت ، بدلا من ذلك ، عينا واحدة ثم أغمضتها وفتحت الأخرى ستلاحظ أن مكان الجسم (وهو الابرة فى هذه الحالة) بالنسبة الى خلفية بعيدة عنه (لنقل أنها النافذة) قد تغير ٠

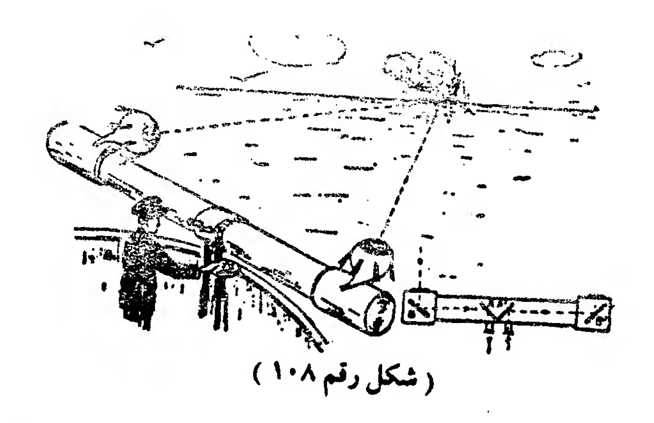


(شكل رقم ١٠٧)

ويعرف هذا الأثر **بالازاحة المكانية** أو الاختلاف الظاهرى وهو بالتأكيد معروف لكل منا وان كنت لم تسمع به مطلقا فما عليك الا النظر الى شكل ١٠٧ ، وكلما كان الجسم بعيدا كلما كانت هذه الازاحة أقل ولذا نستطيع استخدامها فى قياس المسافات ، وحيث أنه من الممكن قياس الازاحة بدقة باستخدام الدرجات المحيطية فان هذه الطريقة أدق من الحكم على المسافة بالاعتماد على الحركة العضلية فى كرة العين ٠ ولكن لما كانت المسافة بين العينين لا تزيد عن ٣ بوصات (٥ر٧ سم) فان استخدامها لتقدير المسافات لا يصلح فيما يزيد عن بضعة أمتار ، وفى حالة الأجسام الأبعد يصبح محورا العينين متوازيين تقريبا وتصبح الازاحة المكانية أصغر من أن تقاس ٠ وحتى نحكم على المسافات الأكثر بعدا لابد من أننا سنحتاج الى أن نحرك عينينا الى مسافة أبعد عن بعضهما ٠ وبالتالى نزيد زاوية الازاحة المكانية ٠ ولست بحاجة الى عملية جراحية لتقوم بذلك ويمكنك أن تستعين بدلا منها بمرآة ٠

نرى فى الشكل جهازا استخدمته البحرية (قبل اختراع الرادار) لقياس بعد السفن المعادية أثناء المعركة ٠ وهو عبارة عن أنبوب طويل به مرآتان (ا ، اَ) أمام كل عين واحدة ، ومرآتان أخريان (ب ، بَ) عند طرفى الأنبوبة ٠ وبالنظر الى مثل هذا الجهاز سترى وكأن لك عين عند

الطرف ب والأخرى عند الطرف بَ ، وتصبح المسافة بين العينين والتى يطلق عليها القاعدة البصرية أكثر بعدا فيمكنك قياس مسافات أبعد ٠ على أن رجال البحرية لا يقصرون اعتمادهم على مجرد الاحساس بالمسافة باستخدام عضلات كرة العين ٠ ولكن معين المدى يكون مجهزا بعدادات خاصة وأقراص رقميـــة تقيس الازاحة المكانيـــة بأقصى قدر ممكن من الدقة ٠

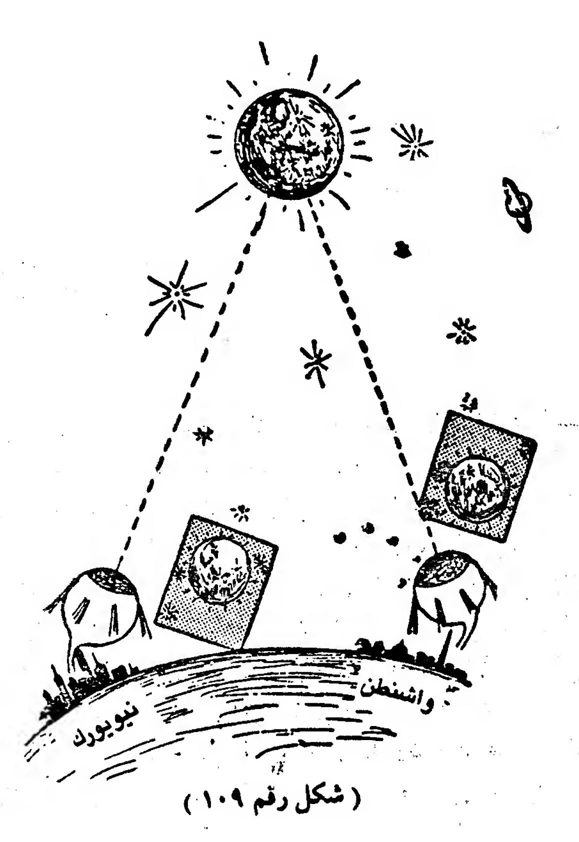


(شكل رقم ١٠٨)

ورغم أن هذا الجهاز يعمل بكفاءة تامة حتى ولو كانت السفينة المعادية تكاد تكون وراء الأفق الا أنها تفشل فشلا ذريعا عند محاولة تحديد بعد أى جرم سماوى مهما كان قريبا ولو كان القمر ٠ وحتى نلاحظ الازاحة المكانية للقمر بالنسبة للنجوم البعيدة عنه فلابد وأن يصبح طول القاعدة البصرية ، أى المسافة بين العينين ، عدة كيلومترات على الأقل ، ولكننا لا نحتاج بالطبع الى صنع تلسكوب خرافى يتحتم على من ينظر فى فتحتى الرؤية فيه أن يضع عينا فى واشنطن مثلا ، والعين الأخرى فى نيويورك ، اذ نستطيع الاكتفاء بأخذ صورتين للقمر من المدينتين فى نفس الوقت ومن ورائه خلفية من النجوم المحيطة به ٠ واذا وضعت هاتين الصورتين في الاستيروسكوب stereoscope الذى يجسم الصـــور سترى القمر متدليا أمام خلفية من النجوم ٠ وبقياس صور النجوم والقمر المأخوذة فى مكانين متباعدين على سطح الأرض (شكل ١٠٩) اهتدى علمـــاء الفلك الى أن الازاحة المكانية للقمر كما تظهر من المكانين على نهايتى قطر الأرض هى ١° ٢٤َ ٥ً ويترتب على ذلك أن المسافة الى القمر تعـــادل طول قطر الأرض ١٤ر٣٠ مرة أى ٤٠٣ر٣٨٤ كم أو ٨٥٧ر٢٣٨ ميلا ٠

واذا رصدنا الزاوية القطرية للقمر سنجد أن قطر التابع الأرضى حوالى ¼ قطر الأرض ٠ وأن مساحة سطحه لا تزيد على $\frac{1}{16}$ من مساحة

ونستطيع بأسلوب مشابه قياس المسافة الى الشـــمس على الرغم من أن الشمس أبعد من ذلك بكثير وبالتالى فان القياســـات تكون أكثر صعوبة أيضا ، وقد وجد علماء الفلك أن بعد الشمس عن الأرض يساوى ١٤٩٫٤٥٠٫٠٠٠ كم (٩٢٫٨٧٠٫٠٠٠ ميل) أو ٣٨٥ مرة قـــدر المسافة الى القمر ٠ وهذا هو السبب فى أن الشمس تبدو فى حجم القمر وهى فى الحقيقة أضخم منه بكثير ذلك أن طول قطرها يعـــادل طول قطر الأرض ١٠٩ مرة ٠



(شكل رقم ١٠٩)

ولو كانت الشمس ثمرة قرع ضخمة لكانت الأرض حبة من حبوب البازلاء ، والقمر بذرة من بذور الخشخاش ، أما أضخم ناطحات السحاب فى نيويورك فستغدو فى حجم أصغر خليـــة بكتيرية يمكن رؤيتهـــا بالميكروسكوب ؛ ومن المجدى هنا أن نتذكر أن الفيلسوف الاغريقى القديم « أناكسوجوراس » نال عقوبة النفى جزاء تقدميته ، بل وهدد بالقتل اذا استمر فى الحديث عن الشمس باعتبارها كرة كبيرة من النار تماثل فى حجمها حجم اليونان كلها ! ٠

ويستطيع الفلكيون أن يحسبوا بعد الكواكب المختلفة فى النظام الشمسى بنفس الطريقة • وقد قدر بعد كوكب بلوتو الذى لم يتم اكتشافه الا حديثا والذى يعتبر أبعد هذه الكواكب عن الأرض بحوالى ٤٠ ضعفا لبعد الشمس عن الأرض ، واذا شئنا الدقة فان هذه المسافة تساوى ٣٫٦٦٨ × ٩١٠ ميلا •

٢ ـ عالم النجوم :

والآن ننتقل الى الخطوة التالية من الكواكب الى النجوم ومرة ثانية يمكن استخدام الازاحة المكانية • وسوف نجد أن أقرب النجوم الينا بعيد جدا الى درجة أن أبعد نقاط الملاحظة المتاحة لنا (على جانبى الكرة الأرضية) لا تظهر فيها أى ازاحة مكانية ملحوظة بالنسبة الى الخلفية النجمية عموما • ولكن رغم ذلك لا يزال هناك حل • فاذا كنا قد استخدمنا الأبعاد الأرضية لقياس حجم مدار الأرض حول الشمس فلم لا نستخدم هذا المدار لتقدير المسافة الى النجوم ؟ وبعبارة أخرى ألا يمكن ملاحظة الازاحة المكانية نسبيا (لبعض النجوم على الأقل) عن طريق النظر اليها من نهايتى مدار الأرض • وهذا يعنى أن علينا الانتظار مدة نصف عام كفترة بينية بين الملاحظتين ، ولكن لم لا ؟ •

لقد بدأ الفلكى الألمانى « بسل » فى مقارنة المواقع النسبية للنجوم عام ١٨٣٨ اعتمادا على هذه الفكرة • وفى البداية كان حظه سيئا : فقد كانت النجوم التى اختارها بعيدة جدا بحيث لم يلحظ أى ازاحة مكانية حتى باستخدام مدار الأرض كقاعدة بصرية والانتظار لمدة نصف عام بين الملاحظتين • ولكن عجبا ها هوذا أخيرا النجم المعروف فى القائمة الفلكية باسم الدجاجة ٦١ (النجم الواحد والستين فى ترتيب الكواكب الخافتة الضوء فى كوكبة البجعة) (*) • والذى اختلف مكانه قليلا بعد نصف عام من الملاحظة الأولى (شكل ١١٠) •

وبعد ذلك بنصف عام عاد النجم الى موقعه القديم فالأمر اذن مرده الى الازاحة المكانية (أو اختلاف الوضع) • وبذلك كان « بسل » أول من يتخطى حدود النظام الشمسى وينطلق الى الفضاء النجمى متقدما على كثير من معاصريه • وقد كانت الازاحة الملاحظة « للدجاجة ٦١ » ضئيلة جدا فى الواقع حيث لم تزد عن ٦ر ثانية زاوية (٢) وهى الزاوية التى يمكن بها أن ترى رجلا على بعد ٥٠٠ ميل اذا كان لك القدرة على الرؤية على

(*) كوكبة شمالية (المترجم) •

(٢) وبتقدير أدق ٦٠٥ر٠ ± ٠٦ر٠

هذا البعد أساسا ! ولكن الأجهزة الفلكية دقيقة جدا ويمكنها قياس حتى هذه الزوايا بدرجة عالية من الدقة . وباستخدام الازاحة الملاحظة وقطر مدار الأرض المعروف اهتدى بسل الى أن هـذا الكوكب يبعد مسافة ١٫٠٣ × ١٤١٠ كم أى أبعد من الشمس ب ٠٠٠ ٦٩٠ ألف مرة ! ومن الصعب الى حد ما أن نلم بمغزى هذا الرقم ففى مثالنا السابق الذى كانت الشمس فيه ثمرة من ثمار القرع والأرض حبة بازلاء تدور حولها على مسافة ٢٠٠ قدم نجد أن بعد هذا النجم يبلغ ٣٠٫٠٠٠ ميل ! .

ومن المتعارف عليه فى الفلك أن نتحدث عن المسافات البعيدة جدا بالفترة التى يمكن للضوء أن يقطعها فيها (سرعة الضوء ٠٠٠ ٣٠٠ كم فى الثانية) . ويحتاج الضوء الى $\frac{١}{٧}$ ثانية للدوران حول الأرض ، وأزيد قليلا من ثانية واحدة ليصل الى الأرض آتيا من القمر وحوالى ٨ دقائق حتى يقطع المسافة الينا من الشمس أما النجم « دجاجة ٦١ » وهو أحد أقرب جيراننا فى الكون فان الضوء يصل الينا منه فى ١١ عاما تقريبا . فاذا حدث وانطفأ هذا الضوء نتيجة لتأثر كارثة كونية ما ، أو انفجر النجم فجأة (وهو أمر كثيرا ما يحدث للنجوم) فسوف يكون علينا أن ننتظر أحد عشر عاما حتى يحمل الينا بريق الانفجار نبأ اندثار هذا النجم حيث يختفى بعد ذلك من سمائنا .

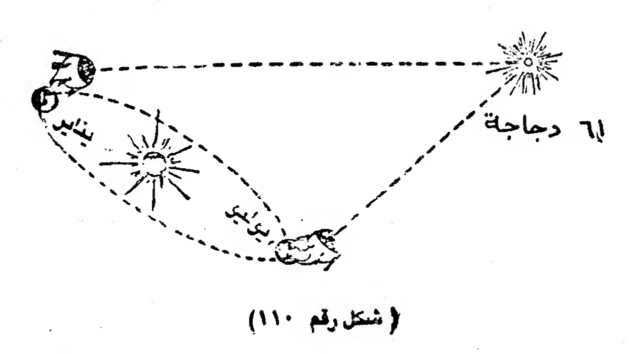
وقد حسب بسل من تلك المسافة التى قدرها أن هذا النجم الذى يظهر للعين أشبه بنقطة لامعة تتلألأ فى السماء ومن ورائه خلفية سوداء هى السماء فى فترة الليل هو فى الحقيقة نجما لامعا أصغر من الشمس فى الحجم بنسبة ٣٠٪ لا غير . وقد كان هذا أول البراهين التى أدت الى ظهور فكرة العالم الشهير « كوبرنيكس » فأحدث انقلابا فى علم الفلك حين قال ان الشمس ما هى الا نجم من عشرات الآلاف من النجوم المبعثرة على أبعاد هائلة فى فضاء لا حدود له .

وبعد اكتشاف « بسل » حدثت العديد من قياسات الازاحة المكانية للنجوم ، والقليل منها كان أقرب الينا من « دجاجة ٦١ » كما كان أقربها الينا قنطورس ألفا (**) (أكثر النجوم لمعانا فى كوكبة الجبار) ، حيث لا يبعد أكثر من ٤٫٣ سنة ضوئية . وهو قريب جدا من شمسنا فى الحجم واللمعان . وأغلب النجوم أبعد بكثير من ذلك الى درجة أنه حتى قطر مدار الأرض يصبح أقصر بكثير من أن يصلح كقـاعدة بصرية لقياس بعدها .

(★) أول من نادى بهذه الفكرة هو العالم الشهير « كوبرنيكس » .

(★★) Alpha Centauri نسبة الى حيوان القنطور الخرافى الذى يتألف من جواد برأس وصدر رجل (المترجم)

وقد وجد أيضا أن النجوم تتباين كثيرا فى أحجامها وشدة اضاءتها ٠٠٠٠٠ من نجوم عملاقة شديدة اللمعان مثل منكب الجوزاء (على بعد ٣٠٠ سنة ضوئية) ويبلغ حجمه ضعف حجم الشمس ٤٠٠ مرة وهو أشد لمعانا منها ب ٣٦٠٠ مرة ، الى نجوم باهتة متقزمة مثل نجم « فان مانن » (على بعد ١٣ سنة ضوئية ، وهو أصغر حجما من أرضنا (قطره يساوى ٧٥ فى المائة من قطر الأرض) وضوؤه أضعف من ضوء الشمس ب ٠٠٠ ١٠ مرة ٠



(شكل رقم ١١٠)

والآن نأتى الى مشكلة هامة وهى حصر عدد النجوم وهناك اعتقاد شائع ربما كان اعتقادك أيضا ، وهو استحالة عد النجوم ٠ ومع ذلك فان هذا الاعتقاد خاطىء تماما مثله مثل الكثير من الاعتقادات الشائعة وذلك على الأقل بالنسبة للنجوم التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة ٠ والحق أن العدد الكلى للنجوم التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة فى نصفى الكرة الأرضية يتراوح بين ٦٠٠٠ و ٧٠٠٠ نجم فقط ، وحيث ان ما يعلو الأفق منها لا يزيد عن النصف فى أى وقت وحيث ان القدرة على رؤية النجوم القريبة من الأفق تتأثر كثيرا بالامتصاص الجوى ، فان عدد النجوم التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة عادة لا يزيد عن ٢٠٠٠ نجم ، ولذا فاذا حاولت أن تعدها بهمة بمعدل نجم فى الثانية مثلا فلابد وأن تنتهى منها كلها فى حوالى ½ ساعة ! ٠

واذا استخدمت نظارة الميدان تستطيع أن ترى ٥٠٠٠٠ نجم جديد ، ويمكنك أيضا بالاستعانة بتلسكوب ½ بوصة أن ترى ٥٠ مليون نجم زيادة على ذلك ٠ أما اذا استخدمت تلسكوب مرصد جبل ولسون الشهير (١٠٠ بوصة) فى كاليفورنيا فسوف تصبح قادرا على رؤية حوالى ½ بليون نجم ٠ ويحتاج الفلكيون فى عدها ــ بمعدل نجم فى الثانية كل يوم من الغسق حتى الفجر ــ الى قرن تقريبا قبل الانتهاء منها ! ولكن أحدا لم يحاول ذلك طبعا و لاحتى أقل منه ٠ ويمكن حساب العدد الكلى للنجوم

بحصر النجوم المرئية فعلا فى عدد من المساحات الواقعة فى أماكن مختلفة من السماء ثم حساب المتوسط وضربه فى المساحة الكلية ٠

ومنذ ما يزيد عن قرن مضى بينما كان الفلكى البريطانى الشهير « ويليام هرشل » يراقب الفضاء النجمى باستخدام تلسكوبه الذى صنعه بنفسه ، فوجىء بأن أغلب النجوم التى تكون عادة غير ظاهرة للعين المجردة تظهر داخل حزام باهت يمر بعرض السماء ليلا ويعرف بدرب التبانة ٠ وله أساسا يرجع الفضل فى اعتراف علم الفلك بأن درب التبانة ليس مجرد حزام سديمى عاد أو شريط من السحب الغازية التى تنتشر بعرض الفضاء ، ولكنه يتألف فى الحقيقة من عدد النجوم البعيدة جدا ومن ثم فانها تكون باهتة لدرجة أن عيوننا لا تتمكن من التعرف عليها منفصلة عن بعضها ٠

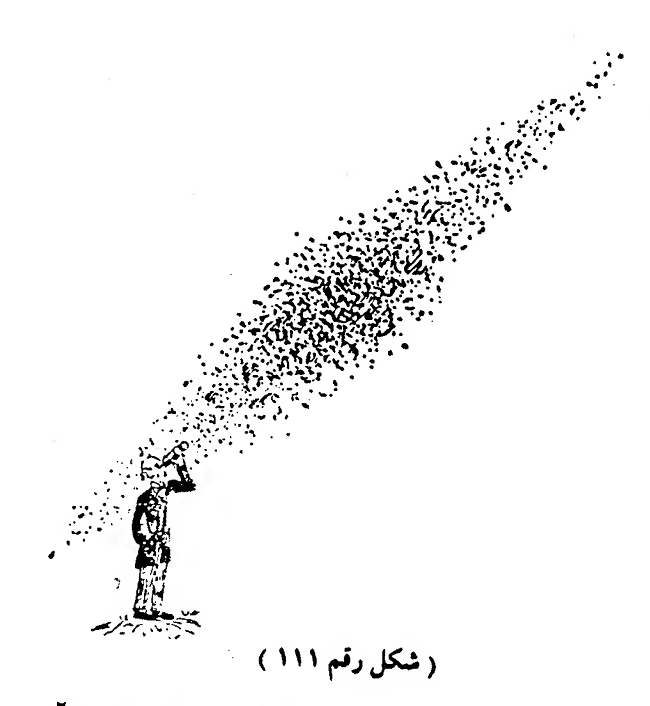
ومع الزيادة المستمرة فى قوة التلسكوبات المستخدمة زاد عدد النجوم التى أصبح بامكاننا أن نراها فى درب التبانة كوحدات منفصلة ، ولكن السواد الأعظم منها ما يزال مختفيا فى صورة خلفية ضبابية ٠ ومع ذلك فمن الخطأ أن نعتقد أن النجوم موزعة فى درب التبانة بدرجة أكبر كثافة منها فى أى جزء آخر من السماء ٠ والواقع أن العبرة فى مظهرها هذا ليست فى كثافة التوزيع النجمى لها ولكن فى عمق هذا التوزيع وهو ما يجعل من الممكن لنا رؤية ما يشبه عددا من النجوم أكبر من هذا العدد فى أى مكان آخر من السماء ٠ وتنتشر النجوم على مرمى البصر (مع الاستعانة بالتلسكوب) فى اتجاه درب التبانة ، بينما فى أى اتجاه آخر لا يمتد وجود النجوم المرئية الى ما لا نهاية ولكننا نرى بعد هذه النجوم فضاء خاليا تقريبا ٠

وعندما ننظر الى درب التبانة فنحن أشبه بمن يرنو الى غابة كثيفة حيث تتداخل الأغصان النامية من الأشجار المختلفة لتكون خلفية متماسكة ، فنحن نرى مساحات من الفضاء الخالى فى غير هذه من المجرات ، تماما كما تظهر المساحات الزرقاء فى السماء ذات الزخرف من فوقنا ٠

لذا فان الكون النجمى الذى تعد شمسنا أحد أعضائه غير البارزين يحتل مساحة مسطحة من الفضاء ويمتد الى مسافة بعيدة فى مستوى درب التبانة ، بينما يكون أقل عمقا فى المستوى المتعامد عليه نسبيا ٠

وقد أدت الدراسات الأكثر تفصيلا على يد أجيال من علماء الفلك الى نتيجة مفادها أن الكون النجمى يتضمن حوالى ٤ × ١٠١٠ نجما قائما بذاته ، وتتوزع هذه النجوم على شكل عدسة يساوى قطرها حوالى ١٠٠٠٠٠ سنة ضوئية ، بينما يتراوح سمكها من ٥٠٠٠ الى ١٠٠٠٠

سنة ضوئية · وقد كان من نتائج هذه الدراسة الصفعة التى تلقاها وجه الانسان والصدمة التى نزلت بكبريائه حين عرف أن شمسنا ليست مركزا لهذا المجتمع النجمى اطلاقا ولكنها تكاد تكون واقعة على حدوده الخارجية ·



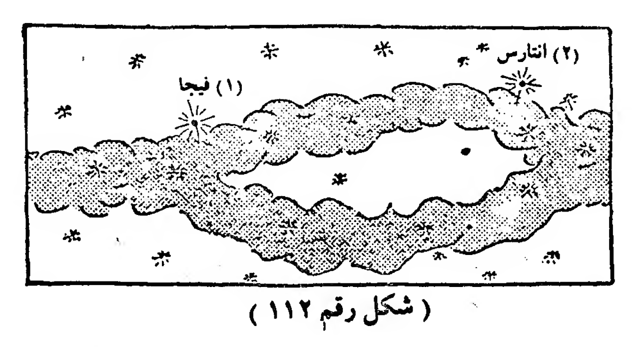
(شكل رقم ١١١)

عالم فلكى ننظر الى التوزيع النجمى لدرب التبانة مصغرا بمقدار $١٠^{٢٠}$ · ويحتل راس العالم تقريبا موقع شمسنا ·

وفى شكل (١١١) حاولنا أن نقرب هذه الفكرة الى القارىء ليعرف الشكل الحقيقى لخلايا النجوم · وبالمناسبة لقد فاتنا أن نذكر أن درب التبانة يعرف فى اللغة العلمية بالمجرة Galaxy (وهى من اللغة اللاتينية بالطبع) · وقد رسمنا حجم المجرة فى هذا الشكل مختزلا بمعامل قدره $١٠^{٢٠}$ من حيث عدد النقاط التى تمثل النجوم المنفصلة حيث انها أقل في الشكل من ٤ × $١٠^{١٠}$ بدرجة كبيرة وذلك لأسباب طوبوغرافية .

ومن أهم الخواص المميزة لهذا الحشد الضخم من النجوم الذى يتكون منه النظام المجرى · حالة الدوران السريع الشبيهة بما يحدث فى نظامنا الكوكبى · وكما تتحرك الأرض وفينوس وعطارد وغيره من الكواكب فى مسارات دائرية تقريبا حول الشمس كذلك تتحرك بلايين النجوم التى يتكون منها نظام درب التبانة حول ما يعرف بمركز المجرة · ويوجد هذا

المركز فى اتجاه كوكبة الرامى (٣) (برج القوس) والواقع أنك لو تتبعت الشكل الضبابى للمجرة عبر السماء ستلاحظ أنه يزداد اتساعا كلما اقتربت من هذه الكوكبة وهو ما يدل على أنك تنظر الى الجزء المركزى الأكثر سمكا من هذه الكتلة الشبيهة فى الشكل بالعدسة (فى شكل (١١١) ينظر صاحبنا فى هذا الاتجاه) • فكيف يبدو مركز المجرة ؟ • مما يؤسف له أننا لا نعرف الرد على هذا السؤال حيث أنه محجوب عن أبصارنا بسحب ثقيلة داكنة من مادة نجمية معلقة فى الفضاء • والحق أنك قد تظن عند النظر الى الجزء المتسع من الطريق السماوى الاسطورى ، أن هذا الطريق يتفرع الى حارتين من حارات المرور فى اتجاه واحد • ولكن هذا ليس تفرعا فعليا اذ أن هذا الانطباع مرده الى السحب الداكنة ذات الغبار النجمى والغازات المعلقة فى الفضاء فى منتصف هذا الجزء المتسع بيننا وبين مركز المجرة ، لذا ففى حين أن القتامة الظاهرة على جانبى درب التبانة ترجع الى الخلفية القضائية الداكنة ، فان القتامة التى توجد فى منتصف المجرة ترجع الى السحابة المعتمة الداكنة • والقليل من النجوم الموجودة فى هذه البقعة المركزية يكون « أمامية » لها ويقع بيننا وبين السحابة (شكل ١١٢) •



(شكل رقم ١١٢)

اذا نظرنا نحو مركز المجرة سيبدو لنا لأول وهلة ان هذا الطريق الاسطورى السماوى يتفرع الى حارتين من حارات المرور باتجاه واحد •

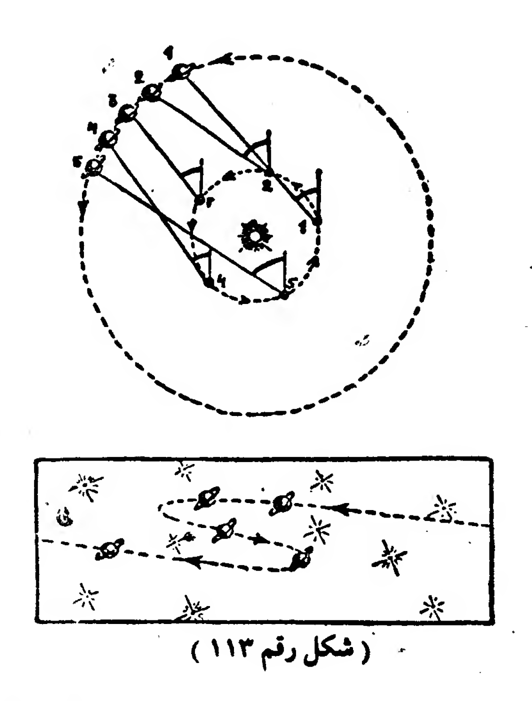
ومن المحزن بالطبع أننا عاجزون عن رؤية هذا المركز الغامض الذى تدور شمسنا حوله فى حركة مغزلية من بين بلايين أخرى من الأنجم • ولكننا نعرف شكله من ناحية معينة ومن خلال مراقبة النظم النجمية أو المجرات المبعثرة فى الفضاء بعيدا فيما وراء حدود درب التبانة • فهو ليس نجما مفرطا في عملقته يفرض على بقية أعضاء النظام النجمى التبعة كما تسود الشمس عائلة الكواكب • وتشير دراسة الأجزاء المجرية (التى ستتعرض

---

(٣) أفضل رؤية « للرامى » (Sagittarius) تكون فى ليلة صافية من ليالى الصيف الأولى •

لها فيما بعد) الى أنه يتكون من نجوم عديدة مع اختلاف واحد وهو أن النجوم هناك تكون أكثر ازدحاما منها فى أى جزء طرفى آخر مثل الجزء الذى تنتمى شمسنا اليه . فاذا شبهنا النظام الكوكبى بدولة أوتوقراطية(*) تحكم الشمس فيها الكواكب ، فان مجرة النجوم أقرب صلة الى النظام الديمقراطى الذى يحتل فيه بعض الأعضاء مواقع مركزية حساسة فى حين يبقى على الآخر من أن يرضوا بمراكز أكثر تواضعا على أطراف نظامهم الاجتماعى ·

وكما ذكرنا قبلا تدور جميع النجوم بما فى ذلك شمسنا فى مدارات عملاقة حول مركز النظام المجرى · فكيف يمكن اثبات ذلك وما طول أنصاف أقطار هذه المدارات النجمية ، وكم تستغرق فى اتمام دورة كاملة ؟ ·



(شكل رقم ١١٣)

لقد أجاب على هذه الأسئلة كلها منذ بضعة عقود العالم الفلكى الهولندى « أورت » الذى طبق ملاحظات على درب التبانة شبيهة للغاية بملاحظات « كوبرنك » على النظام الكوكبى ·

وبادىء ذى بدء دعونا نتذكر فكرة كوبرنيكس · ان القدماء مثل

(*) استبدادية ·

البابليين والفراعنة وغيرهم قد لاحظوا أن الكواكب الكبيرة مثل المشترى وزحل تبدو حركتها فى السماء غريبة نوعا • فكأنها تتحرك فى مسار أشبه بالقطع الناقص كالشمس ، ثم تتوقف فجأة وتتراجع وبعد استئناف الحركة ثانية تتابع السير فى اتجاهها الأصلى • وقد رسمنا فى الجزء الأسفل من شكل ١١٣ صورة تخطيطية لحركة زحل (يتم زحل دورته كاملة بعد ٢٩ عاما ونصف) • وحيث ان النزعة الدينية قد أملت على الناس فى ذلك الوقت اعتقادا بأن الأرض هى مركز الكون ، وأن جميع الكواكب بل والشمس نفسها تدور حولها فقد فسرت هذه المسارات استنادا الى فرضية بأن مدارات هذه الكواكب تكون شاذة وبها عدد من المسارات المنحنية •

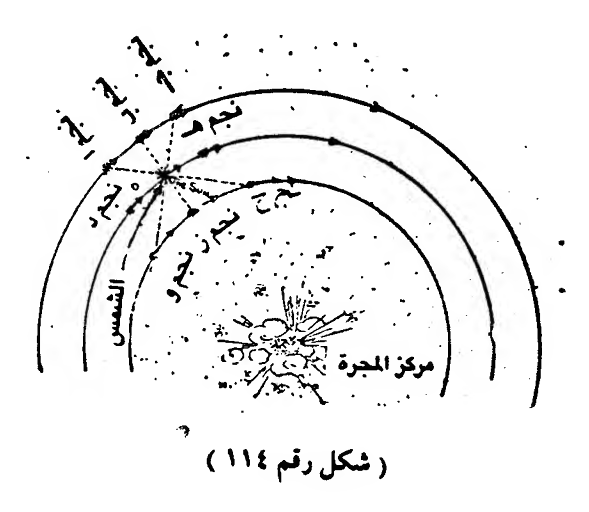
ولكن «كوبرنيكس» كان أفضل من ذلك علما فاستطاع بضربة عبقرية أن يفسر ظاهرة الانقلاب الغامضة على أساس من دوران الأرض مع غيرها من الكواكب على امتداد دوائر بسيطة حول الشمس • ومن الممكن فهم هذا الأثر الانقلابى بسهولة بعد دراسة الرسم التخطيطى الأعلى فى شكل ١١٣ .

فالشمس هى المركز والأرض (الكرة الصغيرة) تتحرك فى الدائرة الصغيرة وكوكب زحل (المحاط بالحلقة) يتحرك فى دائرة أكثر اتساعا فى نفس اتجاه الأرض • وتمثل الأرقام ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ مواضع مختلفة للأرض على مدار العام وما يقابلها من مواضع لزحل الذى يتحرك بمعدل أبطأ كثيرا كما نذكر •

أما الخطوط الرأسية المرسومة من الأماكن المختلفة للأرض فتمثل اتجاه نجم معين ثابت • وبرسم خطوط من المواضع الأرضية المختلفة الى ما يقابلها بالنسبة لزحل نجد أن الزاوية بين الاتجاهين (الى زحل والى النجم الثابت) تبدأ فى الزيادة أولا ثم تتناقص بعد ذلك ثم تزداد • وهكذا فان ظاهرة الانحناءات لا تمثل أى غرابة أو شذوذ فى حركة زحل ولكنها نتيجة لملاحظة هذه الحركة من زوايا مختلفة على الأرض المتحركة •

يمكننا أن نفهم نظرية أورت ORT حول دورة المجرة النجمية اذا نظرنا الى (شكل ١٤) حيث نرى فى الجزء السفلى مركز المجرة (حيث توجد السحب السوداء ، وحوله الكثير من النجوم التى تغطى سطح الشكل بأكمله . وتمثل الدوائر الثلاث أفلاكا على مسافات مختلفة من المركز ، الذى تمثله الشمس •

فلننظر فى نجوم ثمانية (ميزناهم عن غيرهم من النقط) ومنهم اثنان يتحركان على نفس فلك الشمس ، ولكن أحدهما يتقدمها قليلا والثانى يتأخر عنها قليلا ، وعلينا أن نتذكر أن قوانين الجاذبية (انظر الفصل الخامس) تزيد من سرعة النجوم الداخلية عن النجوم الكائنة على أفلاك شمسية وتقلل من سرعة النجوم الخارجية عنها (ونرى ذلك فى الشكل حيث استخدمت أسهم من أطوال مختلفة) .



(شكل رقم ١١٤)

كيف ستبدو لنا حركة هذه النجوم الثمانيـــة اذا راقبنـاها من الشمس ، وكيف ستبدو من الأرض ؟ ونحن نتكلم هنا عن الحركة القائمة على امتداد خط الرؤية الذى يمكن لنا أن نراه بسهولة عن طريق ظاهرة دوبلر Doppler من الواضح أن النجمين (د ٠ هـ) اللذين يتحركان على نفس الفلك بنفس سرعة الشمس ســيبدوان ثابتين لمن يراهما من الأرض أو من الشمس وينطبق نفس هذا على النجمين الآخرين (ب ٠ ز) الواقعان على نصف القطر لأنهما يتحركان حركة موازية للشمس ومن ثم فلا تظهر سرعة كبيرة على خط البصر .

والآن ماذا عن النجمين (أ ٠ جـ) الواقعين على الدائرة الخارجية ؟ انهما يتحركان ببطء أكثر من الشمس كما لاحظنا وكما هو موضح فى هذه الصورة بحيث ان النجم (أ) يتحرك بسرعة أقل بينما النجم (جـ) تسبقه الشمس والمسافة الى النجم (أ) ستزداد بينما ستنقص المسافة الى النجم (جـ) وسيبدو الضوء القادم من هذين النجمين أحمر وبنفسجيا على التوالى طبقا لظاهرة دوبلر . أما النجمان (و ٠ ح) الواقعان على الدائرة الداخلية فسيكون الأمر لهما على عكس الأمر السابق أى أننا ســـنرى النجم (و)

بنفسجي أما النجم (ز) فسيكون أحمر طبقا لظاهرة دوبلر · ونرى من ذلك أن هذه الظاهرة التى وصفناها لتونا لا يمكن أن تحدث الا من جراء الحركة الدائرية للنجوم · ووجود هذه الحركة الدائرية يؤكد لنا هذا الرأى وكذلك يمكننا من حساب نصف قطر الأفلاك النجمية وسرعة الحركة النجمية ، وبجمع هذه المعلومات عن الحركة الظاهرية للنجوم فى السماء استطاع أورت أن يثبت أن الظاهرة المتوقعة لتأثير دوبلر الأحمر والبنفسجي ظاهرة موجودة فى الواقع ومن ثم فقد أثبت دوران المجرة ·

وعلى نحو مشابه يمكننا أن نثبت أن ظاهرة الدوران المجرى (من المجرة) سوف تؤثر على السرعات الظاهرية للنجوم العمودية على خط الضوء المسبب للرؤية · ورغم أن هذه السمة التى تتسم بها السرعة النجمية تنطوى على صعوبات أكبر أمام من يريد أن يقيس أبعاد النجوم بدقة (نظرا لأن السرعات الكبيرة الخطية للنجوم البعيدة تقابل مقادير صغيرة من الازاحة الزاوية على الدائرة السماوية) الا أن هذه الظاهرة قد لاحظها أورت وغيره ·

وبفضل القياس الدقيق لظاهرة أورت (الحركة النجمية (stellar motion نستطيع الآن أن نقيس أفلاك النجوم ونحدد مدة الدوران ، وباستخدام هذا الأسلوب فى الحساب اكتشفنا أن قطر الفلك الشمسى الذى يوجد مركزه فى كوكبة القوس Sagittarius هو ٣٠ر٠٠٠ سنة ضوئية أى ثلثا قطر الفلك الخارجى للمجموعة المجرية بأكملها ويقدر الوقت الذى تحتاجه الشمس لتقطع دورة كاملة حول مركز المجرة فى ٢٠٠ مليون عاما تقريبا : وانها لفترة طويلة بالطبع ولكن اذا علمنا أن نظامنا النجمى عمره حوالى ٥ × ١٠^٩ عاما نجد أن الشمس وعائلتها قد أتموا ٢٠ دورة كاملة أثناء هذه الفترة · واذا كنا نطلق على فترة الدورة النجمية اسم « السنة الشمسية » قياسا على مصطلح السنة الأرضية نستطيع أن نقول أن عمر الكون لا يزيد عن ٢٠ عاما !! فالأحداث تمر ببطء فى عالم النجوم ولذا فان السنة الشمسية تعتبر وحدة ملائمة لقياس الزمن فى تاريخ الكون ! ·

٣ ــ على أعتاب المجهول :

ان مجرتنا كما سبق وأشرنا ليست مجتمع النجوم الوحيد الذى يطوف فضاءات الكون الشاسعة ، اذ أن الدراسات التلسكوبية تكشف عن وجود مجموعات أخرى عملاقة ومشابهة على أبعاد شاسعة فى الفضاء ·

ويمكن رؤية أقربها وهى « سـديم اندروميدا » (*) الشهير حتى بالعين المجردة ٠ وهى تبدو لنا فى شكل سديم باهت بيضاوى نوعا ما ٠ وهناك اشارات كثيرة على أن هيكلنا النجمى ذاته حلزونى الشـكل ولكن من الصعب أن تحدد بنية ما عندما تكون بداخلها ٠ والحقيقة أن شمسنا فى أغلب الظن تحتل موقعا متطرفا على أحد أذرع الحلزون المعروف ب « سديم درب التبانة العظيم » ٠

وقد مر زمن طويل قبل أن يكتشف علماؤنا أن السـدم الحلزونية هى نظم نجمية عملاقة شبيهة بدرب التبانة ، وان هذه النظم قد حيرتهم بهذا الانتشار السديمى لها مثل كوكبة الجوزاء التى تعتبر أضخم السحب النجمية المتدلية بين النجوم فى مجرتنا ، وعلى أية حال وجد بعد ذلك أن هذه الأجسام الضبابية حلزونية الشكل ليست ضبابا على الاطلاق ، ولكنها نجوم منفصلة ترى وكأنها نقاط صغيرة عند استخدام أقوى درجات التكبير ٠ ولكنها بعيدة جدا حتى لا يمكن تقدير بعدها بأى ازاحة مكانية ٠

ولذا ربما بدا لنا لأول وهلة أننا قد وصلنا الى نهاية المطـاف فى وسائل تقدر المسافات الكونية ، ولكن مهلا ! ففى العلم عندما نصطدم بمشكلة يصعب التغلب عليها فانما يكون ذلك عادة ارجاء مؤقت لها ، ويحدث دائما ما يسمح لنا بالمضى الى أبعد ٠ وفى هذه الحالة تم اكتشاف مقياس جديد تماما بفضـل عالم الفلك « هارلو شابلى » (من جامعة هارفارد) وتعرف هـذه الأداة الجديدة باسم النجـوم النابضـة (أو قيفية) cepheids (٥) ٠

فهناك العديد من النجوم فى السماء وفى حين أن بعضـها متوهج باستمرار فان البعض الآخر يتأرجح دائما فى قوة اضـاءته بين اللمعان والانطفاء والعكس فى دورات فضائية منتظمة ٠ ان الأجسام العمـلاقة لهذه النجوم تنبض بشكل منتظم مثل ضربات القلب ومع هذه النبضات يحدث لها تغير دورى فى الاضاءة (٦) ٠ وكلما زاد حجم النجم كلما طالت

(*) كلمة لاتينية من أصل يونانى تعنى المرأة المسلسلة (المترجم) ٠

(٥) سميت هذه الطريقة بهذا الاسم لأن ظاهرة النبض اكتشفت بداية فى النجم B. Cephei

(٦) يجب عدم الخلط بين هذه النجوم النابضة وبين ظاهرة كسوف النجوم المتغيرة التى تعد فعلا نظاما مكونا من نجمين يدوران حول بعضهما ويؤدى ذلك الى كسوف دورى من تأثير كل منهما على الآخر ٠

فترة نبضه تماما كالبندول الذى يستغرق وقتا أطول فى حركته كلما كان أكثر طولا • أما النجوم الصغيرة (أى صغيرة بالنسبة لغيرها) ، فان نبضها يتم على فترات قصيرة أو ساعات • بينما تستغرق النجوم العملاقة أعواما وأعواما حتى تصدر منها نبضة جديدة • والآن حيث ان النجـوم الأضخم حجما هى فى الوقت ذاته الأشد اضاءة فهناك اذن علاقة واضحة بين فترة النبض النجمى والبريق المتوسط للنجم • ويمكن تحديد هذه العلاقة بملاحظة النجوم النابضة cepheids وهى قريبة منا بحيث يمكن قياس بعدها وبالتالى لمعانها الحقيقى مباشرة •

والآن اذا عثرت على نجم يخرج عن حدود الازاحة المكانية فما عليك الا أن تراقبه بالتلسكوب وتلاحظ الوقت الذى يستغرقه فى فترة نبضه • وبمعرفة هذه الفترة سوف تتمكن من تحديد لمعانه الفعلى وبمقارنته باللمعان الظاهرى تستطيع تحديد بعده • وقد استخدم « شابلى » هذه الطريقة البارعة بنجاح فى قياس مسافات بعيدة لا سيما فى درب التبانة وأصبحت ذات نفع هائل فى تقدير الأبعاد العامة لنظامنا النجمى •

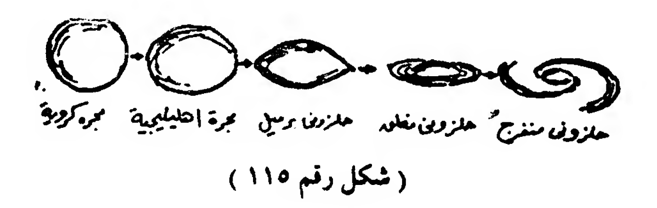
وعندما طبق شابلى نفس الطريقة فى قياس المسافات الى كثير من النجوم النابضة التى رصدها فى سديم « اندروميدا » العمـــلاق فوجىء بشىء مذهل • فالمسافة من الأرض الى هذه النجـــوم وهى بالطبع نفس المسافة الى « اندروميدا » نفسه كانت حوالى ١ر٧ مليون سنة ضوئية وهذا أكثر بكثير من تقديرات قطر درب التبانة • كما أن حجم سديم أندروميدا ظهر أنه أصغر بقليل من كامل حجم مجرتنا •

ولا تزال السدم الحلزونية فى نظم أخرى مثل الدب الأكبر أبعـد بكثير وأقطارها قريبة من قطر أندروميدا •

وقد كان هذا الاكتشاف بمثابة الضربة القاضية للفرضية القديمة التى كان مفادها أن السدم الحلزونية هى أجرام صغيرة نسبيا موجودة فى مجرتنا ، وأثبت أن هذه السدم هى مجرات مســـتقلة تشبه كثيرا مجرتنا • ولا يشك عالم فلكى واحد الآن فى أن درب التبانة سيبدو صغير الحجم جدا لعينى شخص يراقبه من على كوكب يدور حول أحـــد بلايين الشموس فى سديم أندروميدا ، كما كان هذا السديم يبدو لعيوننا •

ان الدراسات اللاحقة لهذه المجتمعات النجمية البعيدة ، والتى ندين بأغلبها للدكتور « هبل » العالم الشهير الذى عكف على دراسة المجرات ، تكشف لنا عن الكثير من الحقائق المثيرة والهامة • فقد اتضح أساسا أن هذه المجرات التى تكشف لنا التلسكوبات القوية منها ما لا ينكشف للعين

المجردة ليست بالضرورة حلزونية الشكل ولكنها متعددة الأنواع والأشكال الى حد كبير ، فهناك **المجرات الكروية** التى تشبه الأقراص العادية ولكنها ذات حواف غير منتظمة ، وهناك **المجرات الاهليليجية** (بيضية الشكل) مع درجات مختلفة من الاستطالة بل ان المجرات الحلزونية ذاتها تختلف عن بعضها فى « مدى احكامها » ، كما أن هناك أيضا مجرات غريبة الشكل تعرف بـ « الحلزونات البرميلية » · وهناك حقيقة هامة بل بالغة الأهمية وهى أن كافة أنماط المجرات التى رصـــدت يمكن أن ترتب فى تتابع منتظم (شكل ١١٥) وهذه المراحل تمثل أطوارا مختلفة فى تكوين هذه المجتمعات النجمية العملاقة ·



(شكل رقم ١١٥)

مراحل مختلفة للتكوين الطبيعى للمجموعات النجمية

وعلى الرغم من أننا لا نزال بعيدين عن فهم تفاصيل تطور المجرات الا أن هناك احتمالا قويا فى أن يكون هذا التطور راجعا الى عملية التفاعل المستمر · فمن المعروف جيدا أنه عندما تحدث تفاعلات منتظمة فى جسم غازى كروى بطىء الدوران ، يؤدى ذلك الى زيادة سرعة دورانه ، ويتحول شكله الى جسم بيضاوى مفلطح ، وعند مرحلة معينة من التشكيل عندما تصبح النسبة بين المسافة بين قطبيه من ناحية وخط الاستواء من ناحية أخرى مساوية لـ ٧/١٠ لابد أن يتخذ الجسم الدوار شكلا محدبا (عدسى الشكل) سليما ، ولكن الغازات التى منها يتكون هذا الجسم تبدأ فى الانسياب بعيدا فى الفضاء المحيط على امتداد الحافة الاستوائية المحـددة جيدا مما يؤدى الى تكوين ستار غازى فى مستوى الاستواء ·

وقد تقدم العالم الفيزيائى الانجليزى والفلكى الشهير سير « جيمس جينز » البراهين الرياضية لكافة الحقائق السابقة بالنسبة لكرة غازية دوارة ، ولكنها تنطبق كذلك دون أى اختلاف على السحب النجمية العملاقة التى تسمى بالمجرات والحق أننا نستطيع النظر الى مثل هذا الحشد من بلايين النجوم باعتباره سربا من الغازات تقوم فيه النجوم مقام الجزيئات فتؤدى نفس الدور ·

وبمقارنة الحسابات النظرية لجينز بتقسيم « هبل » العملى للمجرات تجد أن هذه المجموعات النجمية الضخمة تتبع تماما مراحل التطور التى وصفتها النظرية • ونجد على وجه الخصوص أى أكثر السدم الاهليجيـة « البيضية » استطالة تعادل النسبة التى سبق أن ذكرناها وهى ٧ : ١٠ ، وأن هـــذه هى أول حالة نلاحظ فيها وجود خط اســـتوائى حاد • أما الحلزونات التى تنشأ فى المراحل اللاحقة فى التطور فمن الواضح أنها تتكون من المادة التى تنطلق نتيجة سرعة الدوران . وذلك على الرغم من أننا حتى الآن لم نقف على تفسير كامل ومقنع للسبب والكيفية التى ينشأ بها الاختلاف بين الحلزونات البرميلية والبسيطة •

ولازال أمامنا الكثير لنتعلمه من الدراسات المتقدمة للبنية ، والحركة ، والمحتوى النجمى فى الأجزاء المختلفة من مجتمع المجرة النجمى ، فلقد تم التوصـــل مثـــلا الى نتيجـــة مثيرة جـــدا ، اذ اســـتطاع فلكيى مرصد ويلسون و « باد » أن يكتشف أن الأجسام المركزية (النواة) للحلزون السديمى تتكون من نفس نوع نجوم المجرات الكروية والبيضية أما طرفا الحلزون فيتكونان من نوع مختلف من النجوم • ويختلف نوع نجوم طرفى الحلزون عن نجوم المنطقة المركزية بوجود نجوم ملتهبة ولامعة يطلق عليها « العماليق الزرقاء » وهذا النوع يختفى فى المجرات الكروية والبيضية كذلك • وحيث ان العماليق الزرقاء تمثل فى أغلب الظن أحدث النجوم تكوينا كما سنرى فيما بعد (فى الفصل الحادى عشر) فمن المنطقى اذن الافتراض بأن الأطراف الحلزونية هى اذا جاز القول معمل التفريخ لأفراد النجوم •

ويستطيع المرء أن يتخيل أن جزءا كبيرا من المادة المقـــذوفة من الانتفاخ الاستوائى لمجرة بيضية متفاعلة يتشكل من الغازات الأولية التى تخرج الى الفضاء البارد فيما بين المجرات وتتكثف على هيئة كتل مادية ضخمة ومنفصلة تتحول من خلال تفاعلات متتابعة الى أجسام ملتهبة ولامعة الى درجة هائلة •

وسنعود فى الفصل الحادى عشر مرة أخرى الى مشكلة ولادة النجم وحياته ، ولكننا نتوقف الآن بصفة عامة على توزيع المجرات المنفصلة عبر الفضاء الشاسع •

وهنا لابد من القول قبل كل شىء أن طريقة قياس المسافات التى تعتمد على النجوم النابضة تفشل كلما توغلنا فى أعماق الفضاء على الرغم من النتائج الممتازة التى نحصل عليها عند تطبيقها على المجرات القريبة

من درب التبانة ، ذلك أننا سرعان ما نصل الى أبعاد هائلة لا يمكن عندها تمييز النجوم عن بعضها وتصبح المجرات أشبه بالسدم البيضاوية مهما كانت قوة التلسكوب المستخدم فى رصدها • وفيما عدا هذه النقطة نستطيع الاعتماد على الحجم الظاهر للعين حيث انه من المفاهيم الراسخة الى حد كبير أن جميع المجرات أيا كان نوعها تتساوى فى الحجم تقريبا على خلاف النجوم •

فاذا علمت أن الناس جميعا متساوون فى الطول تقريبا ، ولا يوجد عمالقة أو أقزام فبمقدورك دائما أن تحدد بعد الرجل من الحجم الظاهر له •

وقد استطاع « هبل » باستخدام هذه الطريقة فى تقدير المسافات فى مملكة الفضاء المترامية الأطراف أن يثبت أن المجرات تنتشر فى هذه المملكة على نحو متجانس **تقريبا** وفقا لأبعد مجال للرؤية البصرية (المقواة باستخدام أعلى درجة من التكبير للمناظير الفلكية) •

وقد استخدمنا كلمة « تقريبا » لأنه فى حالات كثيرة تحتشد المجرات فى مجموعات ضخمة بالآلاف تماما كما تحتشد النجوم فى المجرات •

ان مجرتنا أو درب التبانة هى كما يتضح لنا عضو واحد فى مجموعة صغيرة نسبيا من المجرات تضم فى عضويتها ثلاثة حلزونات (بما فى ذلك حلزوننا وسديم أندروميدا) ، وست مجرات بيضية ، وأربعة سدم شاذة الشكل (بما فى ذلك السحابتان الماجيلانيتان) (*) •

ومع ذلك ففيما عدا هذه التجمعات فان المجرات كما ترى باستخدام تلسكوب مرصد « بالومر » (٢٠٠ بوصة) تتوزع فى نظام متجانس نوعا ما فى الفضاء حتى مسافة ٩١٠ سنة ضوئية • ويعتبر متوسط المسافة بين مجرتين متجاورتين حوالى ٥ ملايين سنة ضوئية • كما أن آفاق الكون المرئية تحتوى على عدة ملايين من العوالم النجمية المنفصلة ! •

ونعود مرة أخرى الى التشبيه القديم حيث كان مبنى الامبايرستيت مثلا بخلية بكتيرية ، والأرض بحبة بازلاء ، والشمس كثمرة القرع فنضيف اليه المجرات التى تشبه حشدا عملاقا من ملايين ثمار القرع التى تتوزع تقريبا فى مدار المشترى بينما تتوزع مجموعات هذه الثمرة على شكل

(★) مجرتان تقعان على مستوى ٢٥° من القطب الجنوبى للكون وينبعث منهما ضوء متوهج غير واضح المعالم (المترجم) •

كروى ذى قطر أقصر قليلا من بعد أقرب النجوم الينا · نعم ···· من الصعوبة بمكان أن تحدد نسبة قياسات تلائم الأبعاد الكونيـــة ولذلك فحتى بعد أن شبهنا الأرض بحبة بازلاء لا يزال الكون المعروف فلكيا فى أبعاده !! وقد حاولنا فى شكل ١١٦ أن نعطيـــك فكرة عن تطور استكشاف الكون خطوة خطوة على يدى علماء الفلك · فمن الأرض الى القمر الى الشمس الى النجوم الى المجرات البعيدة الى المجهول ·

والآن نحن معدون للاجابة على هذا السؤال الأساسى الخاص بحجم الكون · **فهـــل نعتبر الكون ممتدا الى ما لا نهـاية ونستنتج أن تطور قوة ونوعية التلسكوبات سوف تكشف لعين الفلكى المتسائل دائما عن مناطق جديدة فى الفضاء كانت مجهولة فيما سبق ، أم أن علينا أن نؤمن بالعكس وأن الكون يحتل حجما كبيرا جدا ولكنه محدود وأن من الممكن استكشافه ، على الأقل من حيث المبدأ ، حتى آخر نجم ؟** ·

اننا عندما نتحدث عن « محدودية الكون » لا نعنى بالطبع أن هناك على بعد ملايين السنين الضوئية سيجد مستكشف الفضاء ســورا أبيض عليه لافتة « ممنوع الدخول » ·

فالواقع أننا قد بينا فى الفصل الثالث **أن الفضاء يمكن أن يكون محدودا دون أن تحده خطوط نهـــائية** · ويمكن ببســـاطة أن يلتف و « ينغلق على نفسه » بحيث اننا لو تصورنا مستكشفا للفضاء يحاول توجيه صاروخه فى خط مستقيم بقدر الامكان ســـوف يسير فى خط « جيوديسى » ثم يعود مرة أخرى الى النقطة التى بدأ منها ·

وهذه الحالة بالطبع تشبه تماما حالة مستكشف اغريقى قديم يسافر **غربا** من أثينا مسقط رأسه وبعد رحلة طويلة يجد نفســـه أمام البوابة **الشرقية** للمدينة ·

وكما يمكن اثبات تقوس سطح الأرض دون حاجة الى الطواف حول العالم ، والاكتفاء بدراسة هندسية لجزء صغير منها نسبيا ـ نســـتطيع الاجابة على التساؤل الخاص بتقوس الفضاء الثلاثى الأبعاد لهذا الكون باستخدام قياسات مماثلة تدخل فى نطاق الرؤية بالتلسكوبات المتاحة · وقد رأينا فى الفصل الخامس أن بمقـــدور المرء أن يفرق بين نمطين من أنماط الانحناء :

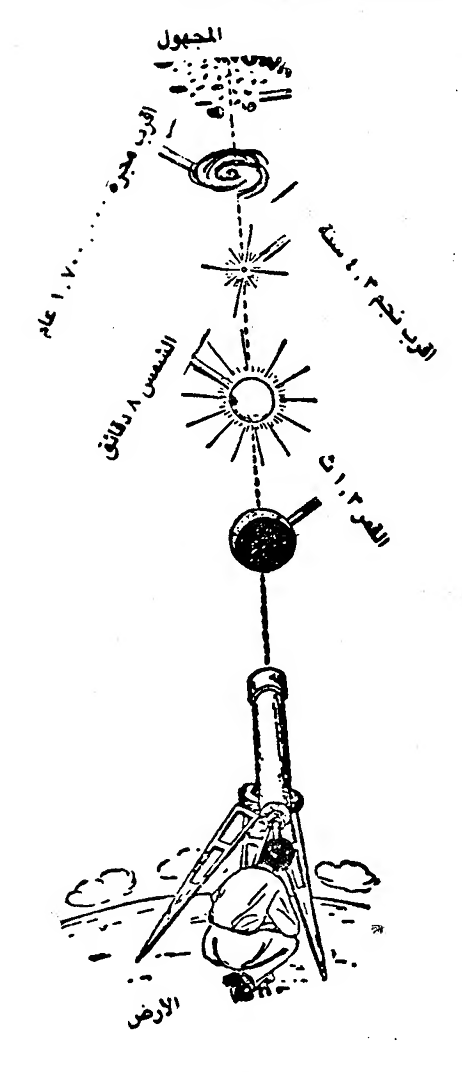
الانحناء الموجب الذى يقابله الفضاء المغلق محدود الحجم ، والانحناء السالب الذى يمكن تشبيهه بالفضاء المفتوح اللانهائى الذى مثلناه بالسرج (راجع شكل ٤٢) . ويكمن الفارق بين هذين النوعين من الفضاء فى الحقيقة التى مؤداها أنه فى حين أن الأجسام المتجانسة التوزيع فى **الفضاء المغلق** على مسافة معينة من المشاهد يكون معدل تزايدها أقل من مكعب هذه المسافة ، فان العكس هو الصحيح فى **الفضاء المفتوح** .

وتقوم المجرات المنفصلة عن بعضها فى كوننـــا بدور « الأجسام المتجانسة التوزيع » لذا فما علينا الا أن نحاول حل مشكلة الانحناء الكونى عن طريق حصر عدد المجرات القائمة بذاتها والواقعة على مسافات مختلفة منـــا .

ولقد قام « هبل » بذلك بالفعل واكتشف **أن عدد المجرات يميـل الى التزايد بمعدل أقل نوعا ما من مكعب المسافة ، ممـا يدل على الانحناء الموجب ومحـدودية الكون** . ومع ذلك يجب ملاحظة أن هـذا الأثر الذى وجده « هبل » ضئيل جدا ولا يصبح ملحوظا الا عند الاقتراب من حـد المسافة التى يمكن رصدها من خلال تلسكوب ١٠٠ بوصة . كما أن تلسكوب ويلسون وما أمكن التوصل اليه من ملاحظات باستخدام العاكس الجديد (٢٠٠ بوصة) المركب على جبل بالومر ، كل هذا لم يلق ضوءا جديدا على هذه المشكلة الهامة .

وهناك نقطة أخرى تلقى ظلالا من الشك حول الاجابة النهائية عن قضية محدودية الكون وهى أن المجرات الضـــاربة فى أعمـاق الفضـاء لا يمكن تحديد بعدها الا بالاعتماد على لمعانها الظاهر لا غير (قانون التربيع العكسى) . ومع ذلك فان هذه الطريقة التى تفترض أن كل المجرات على قدر متساو من اللمعان ربما تؤدى الى نتائج خاطئة اذا كان لمعان كل مجرة على حـــدة يتغير مع الزمن ومن ثم فانه يتوقف على عمر المجرة . وحرى بنا أن نتذكر أن تلسكوب جبل بالومر لا يصل مداه الى أبعد من بليون سنة ضوئية ومن ثم فان النجوم تظهر لنا على الصورة التى كانت عليها منذ بليون سنة مضت . فاذا كان لمعان المجرات ينطفىء مع الزمن (ربما بسبب نقص عدد الأجسام النجمية النشطة ، فهى أعضـــاء فى المجرة ، نتيجة لاندثارها) فلابد اذن أن النتيجة التى وصل اليها « هبل » صحيحة . والواقع أن التغير فى قوة لمعان المجرات بنسبة مئوية بسيطة

على مدى بليون عام (لا تزيد هذه الفترة عن $\frac{١}{٧}$ العمر الكلى لها) قد يعكس الاستنتاج الحاضر بأن الكون محدود ٠



شكل رقم (١١٦)

أهم المحطات فى استكشاف الكون معبرا عن المسافة بينهما بالسنين الضوئية

وهكذا نرى أنه مازال أمامنا الكثير حتى نتيقن مما اذا كان الكون محدودا أم لا نهائيا ٠

الفصل الحادى عشر

أيام الخلق

١ ـ مولد الكوكب :

يعتبر تعبير « الأرض الصلبة » بالنسبة لنا نحن سكان الأرض بقاراتها السبع بما فيها القطب الجنوبى تعبيرا مرادفا من الناحية العملية للاستقرار والخلود . ولا يعنى ذلك لنا الا أن ملامح سطح الأرض المألوفة بقاراتها ومحيطاتها وجبالها وأنهارها قديمة قدم الزمن أو تكاد . والحق أن المعلومات الخاصة بالتاريخ الجيولوجى تدل على أن وجه الأرض يتغير باستمرار تدريجيا ، وأن المساحات الشاسعة للقارات قد تغمرها المياه الآتية من المحيطات فى حين أن مناطق أخرى كانت مطمورة فيما سبق قد تتحول الى يابسة وتبرز الى السطح .

كما نعرف أيضا أن الجبال القديمة تتعرض للتآكل تدريجيا بفعل ماء المطر بينما تظهر سلاسل جديدة ، من وقت الى آخر نتيجة للنشاط التكتونى (*) ، ولكن جميع هذه التغيرات لا تزيد عن كونها حادثة فى قشرة كرتنا الأرضية .

ومع ذلك يمكننا بسهولة أن نفهم أنه قد مر على الأرض دهر لم تكن القشرة فيه واقعا موجودا ، وأن الأرض كانت كتلة متوهجة من الصخور المنصهرة . والواقع أن دراسة باطن الأرض تدل على أن أغلبها لا يزال

(*) ما يطرأ على الأرض من تشوهات والكلمة لاتينية حديثة ماخوذة من الكلمة اليونانيه Tektonikos (المترجم) .

فى حالة منصهرة ، وأن الأرض الصلبة التى كثيرا ما نتحدث عنها ليست الا طبقة رقيقة تعلو كتلة المجما المنصهرة وأسهل الطرق للوصول الى هذه النتيجة هو أن نتذكر أن قياسات درجات الحرارة على أعماق مختلفة تحت القشرة الأرضية تزيد بمعدل ٣٠ درجة مئوية لكل كيلومتر عمق (أو ١٦° فهرنهيت لكل ١٠٠٠ قدم) لذا فان الجدران فى أعمق منجم فى العالم (منجم ذهب فى روبنسون ديب بجنوب أفريقيا) تبلغ من السخونة حدا اضطر المسئولين عنه الى تزويده بأجهزة تكييف الهواء حتى لا يشوى العمال وهم أحياء ٠

وبهذا المعدل لارتفاع الحرارة لابد أن تصل الصخور الى نقطة الانصهار (بين ١٢٠٠° مئوية و ١٨٠٠° مئوية) فى عمق لا يزيد عن ٥٠ كم تحت سطح الأرض ، أى أقل من ١٪ من المسافة الكلية بين سطح هذه الأرض ومركزها ٠ ولابد أن كل المواد الموجودة فى أعماق أبعد وهى تمثل ما يزيد عن ٩٧ فى المائة من كتلة الأرض فى حالة انصهار كامل ٠

ومن الواضح أن هذه الحالة لا يمكن أن تستمر الى الأبد وأننا مازلنا نراقب مرحلة معينة فى عملية البرودة التدريجية التى بدأت ذات يوم حين كانت الأرض كتلة منصهرة بالكامل ، وأنها سوف تنتهى يوما ما فى المستقبل البعيد (بتجمد الأرض كلها من القشرة حتى المركز) ٠ والتقدير التقريبى للفترة التى استغرقتها القشرة الأرضية فى التجمد والتصلب يدل على أن هذه العملية قد بدأت منذ عدة بلايين من السنين ٠

ويمكن الوصول الى نفس الرقم عند تقدير عمر الصخور التى تتكون القشرة الأرضية منها ٠ وعلى الرغم من أن الصخور لا تنطق باختلاف ما فى ملامحها لأول وهلة مما أدى الى ظهور تعبير مثل « جامد كالصخر » فان الكثير منها يحتوى فعلا على نوع من الصخور الطبيعية التى تكشف لعين الجيولوجى المتمرس عن الفترة التى مرت من وصولها الى حالة التصلب الى الآن ٠

ان هذه الساعة الجيولوجية التى تحسب العمر تتمثل فى كمية ضئيلة من اليورانيوم والثوريوم الذى كثيرا ما يوجد فى الصخور المختلفة المأخوذة من على السطح ومن الأعماق البعيدة للأرض ٠ وكما رأينا فى الفصل السابع فان ذرات هذه العناصر تخضع لانحلال اشعاعى تلقائى ينتهى بتكوين عنصر الرصاص المستقر ٠

وحتى نحدد عمر الصخرة المحتوية على العناصر المشعة فاننا لا نحتاج الا الى قياس كمية الرصاص التى تراكمت على مر القرون نتيجة للتحلل الاشعاعى ٠

والواقع أنه طالما كانت مادة الصخرة فى حالة منصهرة فمن الممكن أن تتخرك نواتج الانحلال الاشعاعى من مكانها الأصلى باستمرار نتيجة لعملية الانتشار والحمل الحرارى فى المادة المنصهرة ٠ ولكن ما أن تتصلب المادة متحولة الى صخرة فان ترسب الرصاص بجانب العنصر المشع لابد وأن يبدأ ، وتعطينا كميته فكرة دقيقة عن طول المدة التى استمر فيهـا الاشعاع بنفس الأسلوب الذى يعرف به الجاسوس من عدد علب البيرة الفارغة الملقاة بين النخيل الفترة التى أقامتها حامية من السفن المعادية على جزيرة محيطية ٠

ومن الأبحاث الحديثة التى تستخدم التقنيات المتطورة لقياس ترسبات نظائر الرصاص فى الصخرة بدقة ، ونواتج التحلل للنظائر الكيميائيـة الأخرى غير المستقرة مثل راديوم ٨٧ وبوتاسيوم ٤٠ ـ قـدر العـلماء أن أقصى عمر لأقدم صخرة عثر عليها هو حوالى ٤½ بليون عام ومن ذلك نستنتج **أن القشرة الصلبة للأرض قد نشأت عن مادة كانت منصهرة قبل حوالى خمسة بلايين عام ٠**

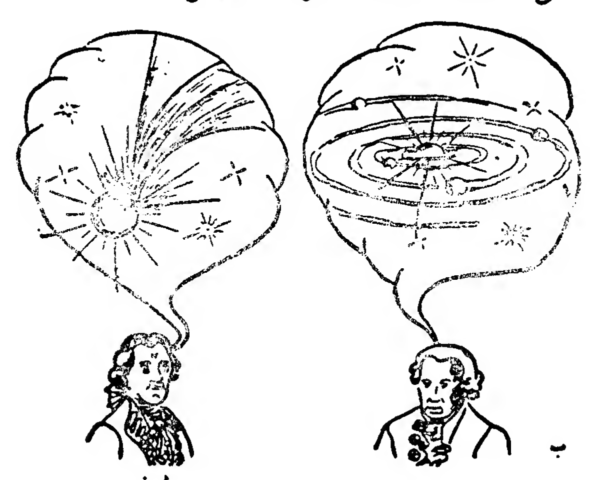
لذا نستطيع أن نتخيل الأرض من خمسة بلايين سنة على شكل كرة منصهرة بالكامل ومحاطة بطبقة سميكة من غلاف جوى به بخار الماء وربما كان محتويا على عناصر أخرى شديدة التطاير ٠

فكيف خرجت هذه الكتلة الساخنة من المادة الكونيـــة الى عالم الوجود ؟ وما هى القوى المسئولة عن تكونهـــا ؟ ومن الذى أمدها بمادة بنائها ؟ ٠

ان هذه التساؤلات الخاصة بنشأة كرتنا الأرضية وكذا غيرها من كواكب نظامنا الشمسى كانت دائما من التساؤلات الأساسية فى علم « الكوزموجونى » (نظرية نشأة الكون) واللغز الذى شغل عقول علمـاء الفلك لعدة قرون ٠

وقد أتت أولى المحاولات فى الاجابة على هذه الأسـئلة باستخدام الوسائل العلمية عام ١٧٤٩ على يدى العـالم الفرنسى الطبيعى الشـهير « جورج لويس لكلمريك » كونت دى بوفن فى واحد من مجلداته الأربعة والأربعين فى مؤلفه **التاريخ الطبيعى** ٠ وقد رأى هذا العالم أن أصل النظام الشمسى يرجع الى حدوث اصطدام بين الشمس ومذنب أتى من أعماق الفضاء النجمى ٠ وقد رسم بخياله صورة حية لـ « المذنب القاتل » بذيل لامع طويل (يكنس) سطح الشمس الوحيدة آنذاك ويرسل منها عددا من « القطرات » الصغيرة فى الفضاء فتتحرك بشكل مغزلى تحت تأثير قوة الصدمة (شكل ١١٧ أ) ٠

وبعد ذلك بأعوام قلائل ظهرت آراء مختلفة بالكامل عن أصل نظامنا الشمسى على يدى الفيلسوف الألمانى المشهور « ايمانويل كانت » ، الذى كان أشد ميلا الى التفكير فى أن الشمس قد صنعت نظام الكواكب التابع لها من تلقاء نفسها دون أى تدخل من الأجرام . وقد تصور « كانت » المرحلة الأولى من عمر الشمس عملاقا باردا نسبيا على هيئة كتلة من الغازات التى تشغل كل حيز نظـــام الكواكب الحالى وتدور ببطء حول محورها . ولابد أن التبريد المستمر للكرة نتيجة لاشعاعها فى الفضاء المحيط قد أدى الى تفاعل تدريجى وزيادة مقابلة فى سرعة دورانها . وقد رأى أيضا أن القوى الطاردة المركزية الناشئة عن هذا الدوران لابد أنها كانت سببا فى التسوية المستمرة للجسم البدائى للشمس الغازية ، كما أدت الى تكوين حلقات غازية متسعة حول خطها الاستوائى (شكل ١٧ب) . وهذه العملية أى تكوين الحلقات من كتل دوارة يمكن تشبيهها بالتجربة الكلاسيكية التى قام بها أفلاطون وفيها تبدأ كرة كبيرة من الزيت (وليس الغاز كما فى حالة الشمس) المعلق فى سائل له نفس كثافته فى تكوين حلقات من الزيت من حولها اذا ما تعرضت للدوران باستخدام جهـــاز ميكانيكى مساعد ، وزاد معدل دورانها عن درجة معينة . والحلقات التى تتكون بهذه الطريقة يفترض أنها تتحلل بعد ذلك ، ثم تتكثف على شكل كواكب تدور على مسافات مختلفة حول الشمس .



فرضية بوفن — فرضية كانت

شكل رقم (١١٧)

المذهبان الفكريان فى علم نشأة الكون

وفيما بعد تبنى العالم الفرنسى الكبير « بييرسيمون » ماركيز دى لابلاس ، هذه الآراء وطورها وقدمها للناس فى كتابه « تفسير نظام الكون » الذى صدر ١٧٩٦ . وعلى الرغم من أن « دى لابلاس » كان عالما رياضيا

عظيما فانه لم يحاول معالجة هذه الأفكار رياضيا ، ولكنه اكتفى بالمناقشة الكيفية شبه المألوفة لهذه النظرية ٠

ولكن عندما بدأت أول معالجة رياضية لآراء « كانت » الكونية بعد ذلك بستين عاما على يدى الفيزيقى الانجليزى « كليرك ماكسويل » اصطدم الرجل بعائق لا يمكن تخطيه يتمثل فيما وجده من تناقض ٠ والواقع لقد تبين أنه لو كانت المادة المركزة حاليا فى كواكب النظام الشمسى المختلفة قد توزعت فى الفضاء الكلى توزيعا متجانسا أى الفضاء الذى تحتله المجموعة الآن لكانت رقيقة جدا بحيث تعجز قوى الجذب عن تجميعها على هيئة كواكب منفصلة ، ومن ثم فان الحلقات التى تنبعث من الشمس المتعاقبة ستبقى كما هى الى الأبد مثل حلقات « زحل » التى تتكون كما هو معروف من عدد لا يحصى من الجزيئات الصغيرة التى تسير فى مدار دائرى حول هذا الكوكب ولا يظهر عليها أى ميل « للتخثر » لتكون تابعا واحدا ضخما ٠

والمخرج الوحيد من هذه المشكلة كان يكمن فى الافتراض أن الغلاف الأصلى للشمس يحتوى على مادة أكثر مما نجد فى الكواكب الآن (بمائة ضعف على الأقل) ، وأن أغلب هذه المادة سقطت على الشمس تاركة حوالى ١٪ فقط منها لتكون أجسام الكواكب ٠

ولكن هذا الافتراض يؤدى مع ذلك الى تناقض لا يقل عن سابقه خطورة ٠ فلو أن مادة بهذا الكم سقطت على الشمس (ولابد أيضا أنها كانت تدور بنفس سرعة الكواكب الآن) فسوف تؤدى حتما الى اكساب الشمس سرعة زاوية أكثر ب ٥٠٠٠ من سرعتها الحالية ٠ ولو كان الأمر كذلك لتحركت الشمس مغزليا بسرعة ٧ دورات فى الساعة بدلا من دورة واحدة كل أربعة أسابيع تقريبا ٠

ويبدو أن هذه الاعتبارات قد أودت بآراء « كانت لابلاس » ، ولكن عيون علماء الفلك لم تهدأ ولم تيأس حتى عادت نظرية « بوفن » الى الحياة مرة أخرى بفضل العالم الأمريكى « ت٠س٠ تشامبرلين » ومواطنه « ف٠ ر٠ مولتون » والعالم الانجليزى سير « جيمس جينز » الشهير ٠ وقد أدخلت تعديلات كثيرة بالطبع على آراء بوفن نتيجة للتطور الذى طرأ على المعارف الأساسية بعد ظهورها فقد استبعد الاعتقاد بأن الجسم الكونى الذى اصطدم مع الشمس كان مذنبا بعد أن اكتشفوا أن أى مذنب يكون صغير الحجم جدا حتى بالقياس الى القمر ٠ ولذا فقد حل مكانه اعتقاد بأن نجما آخرا قريبا فى حجمه وكتلته من الشمس هو الذى قام بهذا الدور ٠

ورغم ذلك فان النظرية الجديدة التى ظنوا فى ذلك الوقت أنها المخرج الوحيد من المشكلات الأساسية فى فرضية لابلاس لم تلبث أن وجدت نفسها تتعثر أيضا • فقد كان من الصعوبة بمكان أن تفهم السبب الذى يجعل شظايا الشمس المتناثرة من جراء الصدمة العنيفة تدور فى نفس تتخذه الكواكب تقريبا بدلا من أن تتبع مسارات بيضاوية مستطيلة •

وانقاذا للأمر كان لابد من افتراض أن الشمس كانت محاطة بغلاف غازى متجانس عندما تكونت هذه الكواكب مما ساعد على تحويل المدارات المستطيلة الى دوائر منتظمة • ولما كان هذا الوسط غير موجود الآن فى الأجزاء التى تحتلها الكواكب فقد افترضوا أن هذه الغازات قد تسربت بالتدريج الى الفضاء النجمى بعد ذلك ، وأن اللمعان الخافت المعروف بضوء « الزودياك » الذى ينبعث الآن من الشمس فى مستوى دورانها ، هو كل ما تبقى من ذلك المجد العريق • ولكن هذا المزيج من فرضية « لابلاس » عن الغلاف الغازى الأصلى وفرضية « بوفن » عن الصدام لم يكن مرضيا أبدا • ولكن كما يقول المثل « أمران أحلاهما مر فاختر أفضلهما » ، وبالتالى فقد قبلوا فرضية « بوفن » عن الصدام باعتبارها الأصح وظلت سائدة ومستخدمة فى كافة المراجع والأدب المنتشر (بما فى ذلك كتابان للمؤلف وهما مولد ووفاة الشمس ١٩٤٠ وقصة الأرض طبعة منقحة عام ١٩٥٩ للطبعة الأولى عام ١٩٤١ •

ولم تحل عقدة نظرية الكواكب الا فى خريف عام ١٩٤٣ على يدى الفيزيائى الألمانى الشاب « س• فيتس تسيكر » باستعمال معلومات جديدة ظهرت حديثا بفضل الأبحاث الفلكية الفيزيائية فنجح فى أن يبين أن كافة الاعتراضات القديمة على فرضية « لابلاس » يمكن الرد عليها بسهولة ، ومن هذا المنطلق يمكن وضع نظرية مفصلة عن أصل الكواكب تفسر كثيرا من الملامح الهامة للنظام الكوكبى التى لم يسبق أن تعرضت لها أى نظرية قديمة •

وكان أهم ما اعتمد عليه « فيتس تسيكر » الحقيقة التى مفادها أن الأفكار التى تربعت على عقول الفلكيين فى العقدين السابقين بالنسبة لمادة الكون الكيميائية قد تغيرت تماما • اذ كان من المعتقد بصفة عامة قبل ذلك أن الشمس وغيرها من الكواكب قد تكونت بنفس النسبة من العناصر الكيماوية التى كونت مادة الأرض • والتحليل الجغرافى الكيميائى يعلمنا أن جسم الأرض يتكون بصفة أساسية من عنصر الاكسجين (فى صورة أكاسيد عناصر مختلفة) ، السيليكون والحديد وعناصر أخرى أثقل •

أما الغازات الخفيفة مثل (الهيدروجين والنيون والأرجون ۰۰ الخ) **فتوجد على الأرض بكميات ضئيلة** (١) ۰

ولما عجز العلماء عن الحصول على دليل أفضل فقد افترضوا أن هذه الغازات نادرة أيضا على الشمس والكواكب الأخرى ۰ ورغم ذلك فان دراسة أكثر تفصيلا أدت بالعالم الفلكى الدانماركى « ب۰ ستروجرين » الى استنتاج خطأ هذه النظرة تماما ، فالشمس مثلا تحتوى كتلتها على ٣٥٪ من الهيدروجين النقى (غير متحد بعناصر أخرى) ۰ ثم ارتفع هذا التقدير بعد ذلك الى أكثر من ٥٠٪ ، كما وجد أيضا أن الهليوم يمثل نسبة كبيرة من مكونات النجوم الأخرى وقد أدت الدراسات النظرية للجزء الداخلى فى النجوم والتى توجتها حديثا الدراسة الهامة ل « م۰ سكوارز شيلد » والتحليل الطيفى الميكروسكوبى الدقيق لسطحها الى نتيجة مذهلة وهى : **أن العناصر الكيميائية الشائعة التى تدخل فى تركيب الأرض لا تزيد نسبتها عن ١٪ من كتلة الشمس أما بقية كتلته فتتوزع بالتساوى تقريبا بين الهيدروجين والهليوم حيث يزيد الأول بدرجة طفيفة عن الأخير** ۰ وواضح أن هذا التحليل يناسب أيضا النجوم الاخرى ۰

وعلاوة على ذلك من المعروف الآن أن **الفضاء النجمى ليس خاليا تماما** ولكنه ممتلىء بخليط من الغاز والغبار الدقيق **بمتوسط كثافة ١ مجم تقريبا من المادة لكل مليون ميل مكعب من الفضاء** ، وهذا التوزيع ، أى المادة المخلخلة الى حد كبير جدا يماثل الشمس وغيرها من النجوم من حيث التركيب الكيميائى ۰

وعلى الرغم من هذه الكثافة المنخفضة الى حد رهيب الا أنه من الممكن اقامة الدليل بسهولة على وجود المادة بين النجمية اذ أنها تقوم بامتصاص نوعى ملحوظ للضوء الآتى من النجوم البعيدة عنا بمئات الآلاف من السنين الضوئية ۰ وتسمح لنا كثافة وموقع « خطوط الامتصاص بين النجمية » هذه بالحصول على تقدير دقيق لكثافة المادة وانتشارها ، كما يتضح منها أن هذه المادة لا تحتوى الا على الهيدروجين وربما الهليوم لا أكثر ۰ والحقيقة أن الغبار المكون من جزيئات صغيرة (قطرها حوالى ۰۰۱ر ملم) من مواد « أرضية » مختلفة لا تزيد عن ١٪ من كتلتها الكلية ۰

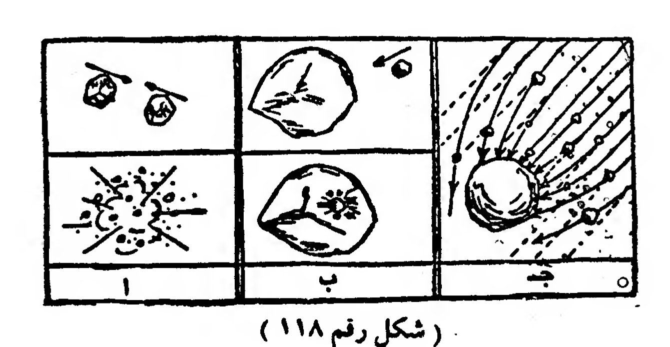
ونعود الى الفكرة الأساسية فى نظرية « فيتس تسيكر » ونستطيع أن نقول ان معرفة التركيب الكيميائى لمادة الكون تلعب دورا رئيسيا

---

(١) أغلب الهيدروجين الموجود على الأرض يكون متحدا مع الأكسجين فى صورة ماء ۰ ولكننا جميعا نعرف أن الماء رغم أنه يغطى ثلاثة أرباع مساحة سطح الكرة الأرضية ولكن كتلته الكلية تعتبر قليلة بالقياس الى كتلة الأرض ۰

على مسرح فرضية لابلاس · **اذ لو كان الغلاف الغازى للشمس ناشيء أصلا عن هذه المادة لكانت النسبة الصالحة منه ـ من العناصر الأرضية الثقيلة ـ لتكوين الأرض وغيرها من الكواكب ضئيلة جدا** · أما بقية العناصر مثل الهليوم والهيدروجين الغازيين فلابد أنها قد تسربت بطريقـــة ما سواء بالوقوع فى الشمس أو الانتشار فى الفضاء النجمى المحيط · وحيث ان الاحتمال الأول يعنى كما ذكرنا من قبل أن سرعة الدوران المحورية للشمس لابد وأن تزيد بدرجة رهيبة ، فليس بوسعنا الا قبول الاحتمال الثانى وهو أن « الزائد » من المواد الغازية قد انتشر فى الفضاء بعد أن تكونت الكواكب من مركبات أرضية ·

وهذا ينتقل بنا الى صورة جديدة (شكل ١١٨) **عن تكوين النظام الكوكبى** · فعندما خلقت الشمس من تكثف المـادة بين النجمية (انظر الجزء اللاحق) ظل جزء كبير منها ربما كان يفوق كتلة الكواكب الحالية مجتمعة بمائة مرة ، ظل هذا الجزء فى مكانه على السطح الخارجى لها كغلاف دوار عملاق · (والسبب فى ذلك السلوك يظهر بسهولة فى الفارق بين حالات الدوران لمختلف أجزاء الغازات بين النجمية فى الشمس البدائية) . ويجب أن نتصور أن هذا الغلاف السريع الدوران يتكون من **غازات غير قابلة للتكثف** (الهيدروجين ، والهليوم ، وقليل من الغازات الأخرى) هذا بالاضافة الى **جزيئات غبار** من مختلف المواد الأرضية (مثل أكاسيد الحديد ومركبات السليكون ، وقطرات الماء ، وبلورات الثلج) التى كانت محمولة على الغاز ومن ثم فقد اتبعت الحركة الدورانيـــة له والراجح أن تكوين هذه الكتل « الأرضية » فى مادتها والتى نطلق عليها الآن الكواكب قد حدث نتيجة مصادمات بين جسيمات الغبار ونموها التـدريجى حتى وصلت الى هذه الأحجام الضخمة · وفى (شكل ١١٨) تصور لنتيجة هذه الصدامات المتبادلة التى يرجح حدوثها عند سرعات قريبة من سرعة النيازك ·



(شكل رقم ١١٨)

ومن المنطقى اذن أن نستنتج أن هذه السرعات سوف تؤدى عند الصدام بين جسيمين متساويين تقريبا فى الكتلة الى أن يسحق كل منهما الآخر (شكل ١١٨ أ) وهذا من شأنه ألا يؤدى الى النمو ولكن بالأحرى الى تدمير كتل أكبر من هذه الجسيمات · ومن ناحية أخرى عندما يصطدم جسيم صغير مع آخر أكبر منه (شكل ١١٨ ب) فمن البديهى أنه سوف يدفن نفسه فيه وبالتالى تزيد كتلة هذا الأخير ·

ومن الواضح أن هاتين العمليتين سوف تؤديان تدريجيا الى اختفاء الجسيمات الصغيرة ، ونمو الجسيمات الأخرى من نفس المادة · ثم تزيد سرعة العملية فى المراحل الأخيرة وذلك لأن الأجسام الكبيرة ستجتذب الأصغر منها عند مرورها بها لتضيف كتلتها اليها (شكل ١١٨ جـ) · ويتضح من الشكل أن كفاءة الأجسام الكبيرة فى أسر غيرها تزيد الى حد كبير ·

وقد استطاع « فيتس تسيكر » أن يشرح لنا أن الغبار الدقيق الذى كان مبعثرا فى المنطقة التى تحتلها الكواكب الآن لابد انه المسئول عن تكوين هذه الكتل الضخمة وهى الكواكب فى حوالى ١٠٠ مليون عام تقريبا ·

الكوكب	بعده عن الشمس بالنسبة لبعد الأرض عنها	نسبة بعد كل كوكب عن الشمس بالنسبة الكوكب السابق
عطارد	٣٨٧ر	
فينوس	٧٢٣ر	١ر٨٦
الأرض	١ر٠٠٠٠	١ر٣٨
المريخ	١ر٥٢٤	١ر٥٢
الكويكبات (*)	٢ر٧ تقريبا	١ر٧٧
المشترى	٥ر٢٠٣	١ر٩٢
زحل	٩ر٥٣٩	١ر٨٣
اورانوس	١٩ر١٩١	٢ر٠٠١
نبتون	٣٠ر٠٧	١ر٥٦
بلوتو	٣٩ر٥٢	١ر٣١

(*) أجرام شبيهة بكواكب سيارة (المترجم) ·

ولابد أن قذف الكواكب باستمرار بقطع مختلفة الأحجام من المواد الكونية أثناء دورانها حول الشمس قد أدى الى سخونة سطحها جدا . وبمجرد انتهاء الغبار النجمى والحصا والصخور الضخمة توقفت عملية النمو فى الكواكب ، ويرجح أن الاشعاع المستمر فى الفضاء النجمى قد أدى الى سرعة تبريد الطبقات الخارجية للأجرام السماوية (الكواكب) ، ومن ثم ظهرت القشرة الصلبة التى تزداد سمكا يوما بعد يوم نتيجة للتبريد التدريجى المستمر لباطن الأرض .

والنقطة التالية فى الأهمية والتى لم تتوان نظرية فى أصل الكواكب عن اقتحامها هى هذه القاعدة الغريبة (المعروفة بقاعدة تيتوس بود) (*) والتى تحكم المسافات بين الكواكب المختلفة والشمس وترى فى الجدول الموجود فى صفحة ٢٩٦ تسعة كواكب من النظام الشمسى بالاضافة الى الحزام الكوكبانى الذى يمثل بوضوح حالة استثنائية لم تتجمع فيها القطع المنفصلة فى كتلة واحدة مفردة .

وهناك أهمية خاصة للأرقام الموجودة فى العمود الأخير ، فعلى الرغم من بعض الفروق فيما بينها الا أنه من الواضح أنها تدور كلها فى فلك الرقم (٢) وهو ما يسمح لنا بصياغة هذه امقاعدة التقريبية : **ان نصف قطر أى مدار كوكبى يقترب من ضعفى مثيله بالنسبة لأقرب كوكب اليه فى اتجاه الشمس .**

اسم التابع		المسافة بالنسبة لنصف قطر	نسبة الزيادة بين مسافتين متتاليتين
ميموس	Mimas	٣ر١١	
انكلادس	Enceladus	٣ر٩٩	١ر٢٨
تيثيز	Tethys	٤ر٩٤	١ر٢٤
دايون	Dione	٦ر٣٣	١ر٢٨
ريا	Rhea	٨ر٨٤	١ر٣٩
تيتان	Titan	٢٠ر٤٨	٢ر٣١
هيبريون	Hypcrion	٢٤ر٨٢	١ر٢١
جيبتوس	Japetus	٥٩ر٦٨	٢ر٤٠
فويبى	phoebe	٢١٦ر٨	٣ر٦٣

(*) Titus-Bode.

ومن المثير أن هناك قاعدة شبيهة بذلك تنطبق على توابع الكواكب ، ففى الجدول السابق نستطيع أن نؤكد هذه الحقيقة عن مسافات توابع زحل التسعة ٠

فكما فى الكواكب نجد أنفسنا هنا أمام فروق واسعة جدا (ولا سيما بالنسبة لفويبى !) ولكن ـ مرة ثانية ـ نجد نظاما محددا من نفس النوع يربط بين هذه المسافات ٠

والآن بم نفسر أن عملية التراكم التى حدثت فى سحب الغبار المحيطة بالشمس لم تسفر ـ وهذا أولى ـ عن كوكب ضخم واحد لا غير ، وما الذى جعل هذه الكتلة الضخمة تتكون على هذه المسافات بالذات ؟ ٠

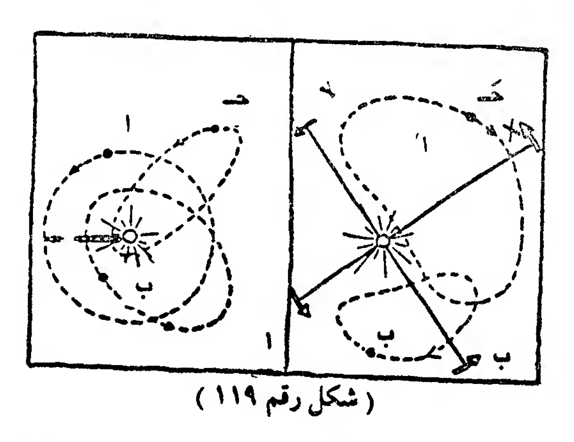
وللاجابة على هذا السؤال لابد من القاء نظرة أكثر تفصيلا على التحركات التى تمت فى السحب الغبارية الأصلية ، وينبغى أن نتذكر أولا أن كل جسم مادى ـ سواء كان ذرة دقيقة من الغبار ، أو نيزكا صغيرا ، أو كوكبا ضخما ـ يتحرك حول الشمس وفقا لقوانين نيوتن فى الحركة لابد وأن يتبع مسارا بيضاويا تكون الشمس بؤرته ٠ فاذا كانت المادة المكونة للكواكب أصلا على هيئة جسيمات منفصلة لنقل مثلا أن قطرها يساوى ٠٠٠١ر سم (٢) فلابد أن عددها لن يقل عن ١٠^٤٥ جسيم تقريبا تتحرك فى مدارات بيضاوية مختلفة الأحجام والاستطالات ٠ من الواضح الآن أنه فى مثل هذا المرور المزدحم لابد من حدوث كثير من حوادث الصدام ونتيجة لذلك فمن المرجح أن هذه الحوادث قد أدت الى حدوث نوع ما من التنظيم فى هذا الحشد ككل ٠ وليس من الصعب أن تدرك أن هذه المصادمات قد عملت اما على سحق « المخالفين » واما اجبارهم على « الانعطاف » الى « حارات مرور » أقل ازدحاما ٠ فما هى القوانين التى قد تحكم مثل هذا « النظام » أو على الأقل هذا « المرور » المنظم جزئيا ؟ ٠

وليكن مدخلنا الأول الى هذه المشكلة اختيار مجموعة من الجسيمات التى تساوت فى زمن دورانها حول الشمس ٠ والبعض منها كان يتحرك فى مدار دائرى يتناسب نصف قطره مع فترة الدوران ، فى حين كان البعض الآخر يتخذ مدارات بيضاوية مختلفة الاتساع والاستطالة (شكل ١١٩ أ) والآن سنحاول وصف حركة هذه الجسيمات المختلفة بالنسبة لمحورين متعامدين (ز ، ى) مركزهما الشمس وسرعة دورانهما تساوى سرعة دوران الجسيمات نفسها ٠

---

(٢) وهو تقريبا حجم ذرات الغبار فى المادة بين التجمية ٠

ويتضح أولا باستخدام هذا النظام أن **الجسيمات المتحركة في مدار** دائرى (أ) ستظهر كما لو كانت ساكنة تماما فى نقطة معينة أ َ · كما أن الجسم ب الذى كان يدور حول الشمس فى حركة بيضاوية يقترب ويبتعد عن الشمس وفى الحالة الأولى تزداد سرعته الزاوية بينما تنخفض فى الحالة الثانية ، وبالتالى سوف يتحرك هذا الجسيم أحيانا أمام النظام المحورى (ز ، ى) ويتخلف وراءه فى أحيان أخرى · ومن اليسير أن نرى من ـ وجهة نظر هذا النظام ـ أن الجسيم **سيتخذ مسارا مغلقا أشبه بحبة الفول** (ب َفى الرسم) · ويبقى الجسيم (جـ) وهو الذى كان يتحرك فى مدار بيضاوى أكثر استطالة وسوف يرى من هذا النظام (ز ، ى) على نفس الشكل وان كانت حبة الفول هنا أكبر (جـَ) ·



(شكل رقم ١١٩)

الحركة الدائرية والبيضاوية بالنسبة لنظام محورى ثابت (ا) ونظام محورى دوار (ب) ·

ومن الواضح أننا لو أردنا ترتيب حركة هذه الحشود من الجسيمات بأكملها بحيث يستحيل حدوث صدام بينها **فلابد أن يتم ذلك بحيث يمتنع التقاطع بين هذه المسارات الفولية فى هذا النظام المحورى المنتظم الدوران (ز ، ى)** ·

فاذا تذكرنا أن زمن الدوران لهذه الجسيمات حول الشمس واحد مما يجعل متوسط بعدها عن الشمس واحدا سنجد أن هـذا النمط غير المتداخل لمساراتها فى نظام (ز ، ى) يشبه « **عقدا من الفول** » **يطوق** عنق الشمس ·

والهدف من التحليل السابق الذى ربما كان صعبا الى حد كبير على القارىء ، وان كان من حيث المبدأ تصورا بسيطا الى حد كبير أيضا ، هو ايضاح **نوع القواعد المرورية التى تحول دون التقاطع** بين مجموعات

الجسيمات التى تدور على نفس البعد المتوسط حول الشمس ، وهى من ثم تستغرق نفس الزمن فى الدوران · ولكن لما كان متوقعا تواجه فى سحابة الغبار الأصلية التى كانت تحيط بالشمس فى بادىء عهدها بكل المسافات المتوسطة ، وما يقابلها من سرعات فى الدوران فالحالة هنا أكثر تعقيدا بكثير · فبدلا من « عقد فول » واحد هناك لا شك عدد كبير من هـــذه « العقود » التى تدور بسرعات مختلفة بالنسبة لبعضها البعض · وبالتحليل الواعى نجح « فيتس تسيكر » فى أن يثبت أنه لكى يســـتقر هذا النظام لابد أن يحتوى كل « عقد » منفصل على خمسة نظم منفصلة وبالتالى تكون صورته شبيهة جدا (بشكل ١٢٠) وهذا النظام سيضمن « مرورا آمنا » فى كل حلقة على حدة ، ولكن حيث ان سرعة دوران الحلقات مختلفة فلابد من وقوع « حوادث مرور » كلما مست حلقة حلقة أخرى · ولابد أن هذه العدد من الصدامات المتبادلة على الحدود بين جسيمات حلقة وما يجاورها من جسيمات أخرى قد أسفر عن عملية التراكم وازدياد كتل المادة شيئا فشيئا على هذه الأبعاد بالذات من الشمس · وهكذا تكونت الكواكب عن طريق نقص اتساع كل حلقة وتراكم المـادة على حـــدودها مع الحلقات الأخرى ·



(شكل رقم ١٢٠)

حارات المرور للغبار فى الغلاف الشمسى البدائى ·

والشكل السابق يعطينا فكرة مبسطة عن القاعدة القـــديمة التى تحكم أنصاف أقطار مدارات الكواكب · والواقع أن الاعتبارات الهندسية الأولية تظهر لنا أنه فى النموذج الموضح فى شكل (١٢٠) · **تكون أنصاف أقطار المدارات · للحلقات المتتابعة معبرة عن متوالية هندسية يكون كل حد فيها ضعفى الحد السابق عليه** · ويظهر لنا أيضا أن هذه القاعدة ليست دقيقة تماما · والواقع أنها ليست وليدة **قانون صارم** يحكم حركة الجزيئات فى سحابة الغبار الأصلية ، ولكنها بالأحرى تعبر عن اتجاه معين فى الحركة أكثر نظاما من حركة الغبار العادية ·

أما انطباق نفس القاعدة على توابع (أقمار) الكواكب المختلفة فى نظامنا فيدل على أن تكوين التوابع قد حدث بنفس الأسلوب تقريبـــا · وعندما تفتتت سحابة الغبار الأصلية المحيطة بالشمس الى مجمــــوعات منفصلة من الجسيمات كانت هى الكواكب فيما بعد تكررت العملية مرة أخرى وفى كل مرة تركز الجزء الأكبر من المادة فى الوســـط ليعطى فى النهاية جسم الكوكب بينما تكثف الجزء الباقى منها بالتدريج على هيئة عدد من التوابع ·

ولقد فاتنا فى خضم هذا الحديث عن المصـادمات المتبادلة ونمــو جزيئات الغبار أن نخبرك بما حدث للجزء الغازى فى الغـــلاف الشمسى البدائى الذى كان اذا كنت لا تزال تذكر يمثل ٩٩ فى المائة من كتلتها الكلية والاجابة على هذا السؤال أبسط نسبيا ·

أثناء تصادم جزيئات الغبار الذى أدى الى تكوين كتل أكبر وأكبر من المادة ، تسربت جزيئات الغاز تدريجيا الى الفضاء النجمى · ويمكن الاثبات بحسابات بسيطة نسبيا أن الزمن الذى استغرقته هذه العملية كان ١٠٠ مليون عام تقريبـــا ، وهو نفس الزمن الذى اســـتغرقه تــكوين الكواكب ·

لذا فما أن أخذت هذه الكواكب شكلها النهـائى حتى كان أغلب الهيدروجين والهليوم وهما العنصران الأساسيان فى الغـــلاف الشمسى البدائى قد فرا من النظام الشمسى تاركين وراءهما هذه الكميات القليلة التى أشرنا اليها من قبل باسم **الضوء البروجى (الزودياك)** ·

ومن النتائج الهامة لنظرية « فيتس تسيكر » **أن عملية تكوين النظام الكوكبى لم تكن حالة استثنائية ولكنها قد حدثت جزئيا فى تكوين كل النجوم** · وهذه الجملة تناقض تماما الاستنتاجات التى ترتبت على نظرية الصدام التى اعتبرت عملية التكوين الكوكبية حالة لم تتكرر فى تاريخ الكون · ولقد كانوا يظنون أن الصدامات النجمية حالات نادرة جدا ، وأن من بين ٤ × ١٠١٠ نجما وهو عدد نجوم درب التبانة لم تحـــدث

الا حالات قليلة جدا من مثل هذا النوع من الحوادث (وهذا غير مؤكد عندهم) على مدار عدة بلايين من السنين هي عمر هذه النجوم ·

فاذا كان ـ كما يتضح لنا الآن ـ **لكل نجم نظام كوكبي تابع له** فهذا يعني أن هناك الملايين من الكواكب فى مجرتنا وحدها تشبه فى ظروفها الطبيعية ظروف الأرض تماما · وسوف يكون من الغريب ان لم يكن من المذهل ـ لو اكتشفنا أن هذه الكواكب « خلو من الحياة » بل وفى أرقى صورها أيضا ·

وقد ناقشنا فى الفصل التاسع أبسط صور الحياة مثـــل الأنواع المختلفة من الفيروسات ورأينا أنها مجرد جزيئات معقدة تتركب أساسا من ذرات الكربون والهيدروجين والنيتروجين · وحيث ان هذه العناصر توجد بالتأكيد بكميات وفيرة على سطح أى كوكب حديث التكوين فلا مفر لنا من الاعتقاد أن بعض هذه الجزيئات قد ظهر بعد تكوين القشرة السطحية ان آجلا أو عاجلا وبعد تكثف البخار الجوى على هيئة مستودعات مائيـــة ضخمة نتيجة للاتحاد بين الذرات المناسبة فى النظام المناسب عن طريق الصدفة · ومن المؤكد أن تعقد الجزيئات الحية يجعل احتمالية تكوينها عن طريق الصدفة أمرا مشكوكا فى حدوثه · فهو أقرب الى احتمال الحصول على صورة كاملة عن طريق رج الصندوق المحتوى على قصاصاتها على أمل أن تترتب الدقة من تلقـــاء نفســـها · ولكن يجب ألا ننسى أن عـــدد الذرات كان رهيبا وأنها لم تفتأ تتصادم مع بعضها باستمرار وأن الوقت الذى أتيح لها لترتيب نفسها كان طويلا جدا · وظهور الحياة على كوبنا بعد فترة صغيرة نسبيا بمجرد أن ظهرت القشرة الأرضية يدل على أن تكوين الجزيئات بمحض الصدفة لم يكن يحتاج الا الى بضعة مئات ملايين السنين رغم غرابة الأمر · وما أن ظهرت أبسط صورة للحياة على سطح الكوكب حديث النشأة حتى أدت عملية التكاثر العضوى والتطور التدريجى الى ظهور صور أكثر تعقيدا شيئا فشيئا من النظم الحية (٣) · ولا ندرى ان كانت نشأة الحياة على الكواكب الأخرى « الصالحة للسكنى » قد تمت بنفس الطريقة أم لا · ومن ثم فان دراسة الحيـــاة فى العوالم المختلف ستسهم بصفة جوهرية فى تفهمنا لعمليتى النشوء والتطور ·

ولكن اذا كان من الممكن لنا دراسة صور الحياة التى قد توجد على المريخ أو الزهرة (أفضل الكواكب « الصالحة للســـكنى » فى نظامنا الشمسى) فى المستقبل غير البعيد بالقيام برحلة مغامرة على متن « سفينة

---

(٣) لمزيد من التفاصيل عن أصل الحياة وتطورها على الأرض ارجع الى كتـــاب المؤلف
A Planet Called Earth (New York, The Viking Press, 1963).

قضاء تعمل بالطاقة الذرية » ، فان قضية احتمال وجود الحياة ، والصور التى قد تتمثل فيها على العوالم النجمية الأخرى التى تفصل بيننا وبينها المئات بل وآلاف السنين الضوئية سوف تظل على الأرجح سرا مستغلقا أمام العلم ·

٢ ـ الحياة الخاصة للنجوم :

بعد أن أخذنا صورة كاملة تقريبا عن الكيفية التى منحت بها النجوم ـ كل على حدة ـ الفرصة لمولد أسرها من الكواكب ربما نتساءل الآن عن النجوم نفسها ·

ما هو تاريخ حياة النجم ؟ وما هى تفاصيل مولده ، والتغيرات التى طرأت عليه فى رحلة عمره الطويلة ، ومتى تحين نهايته ؟

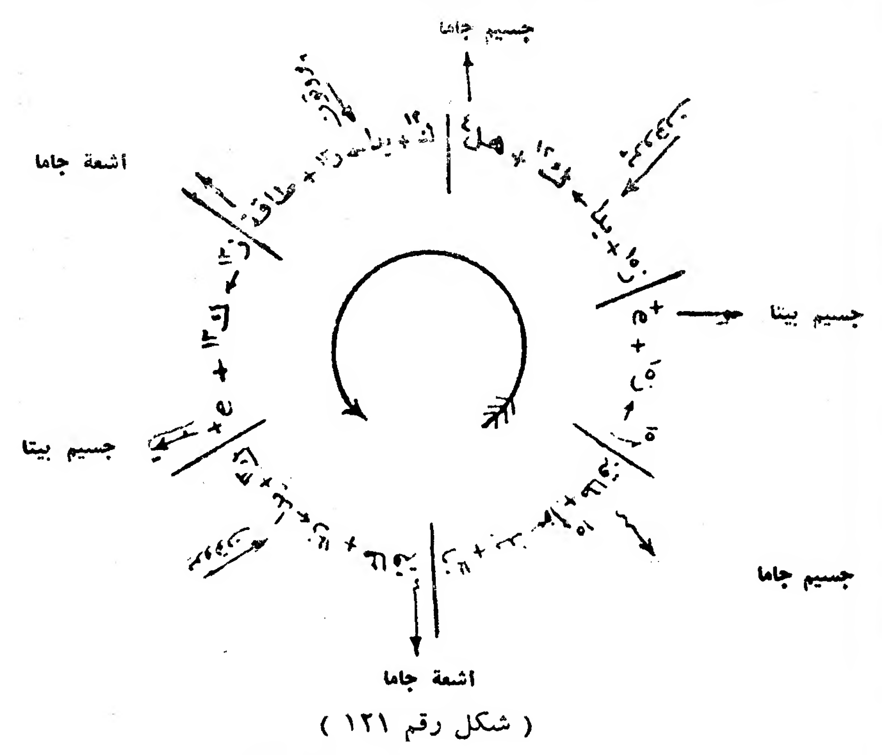
ونستطيع أن نبدأ الاجابة على هذا السؤال بالنظر أولا الى شمسنا ، فهى تكاد تكون عينة مماثلة تقريبا لبقية الأعضاء من بلايين نجوم درب التبانة ·

ونحن نعرف أساسا أن شمسنا نجم قديم الى حد ما ، فوفقا لمعلومات علم الاحاثة (*) (البليونتولوجيا) ظلت الشمس تضىء بنفس القوة لبضعة بلايين من السنين معطية الحياة فرصة للتطور على سطح الأرض · ولا يوجد مصدر عادى يمكنه أن يوفر هذا الكم من الطاقة لهذه الفترة الطويلة · وظلت مشكلة اشعاع الشمس أحد الألغاز التى استعصت على العلم حتى اكتشف العلماء التحولات الاشعاعية ، والتحول الاصطناعى للعناصر مما كشف لنا عن مصادر هائلة للطاقة الكامنة فى أعماق نواة الذرة · ولقد رأينا فى الفصل السابع أن أى عنصر كيميائى هو عمليا وقود كيماوى يمكن أن يعطينا قدرا هائلا من الطاقة ، وأن هذه الطاقة يمكن تحريرها عن طريق تسخين هذه العناصر ورفع درجة حرارتها ملايين الدرجات ·

وفى حين أن هذه الدرجات العالية يستحيل عمليا الوصول اليها فى المعامل الأرضية الا أنها مألوفة فى عالم النجوم الى حد كبير · وفى الشمس مثلا تبلغ الحرارة على السطح ٦٠٠٠° مئوية فقط ثم تزيد بالتدريج حتى تصل فى مركزها الى ٢٠ مليون درجة · ويمكن حساب هذا الرقم دون صعوبة كبيرة من ملاحظة درجة حرارة هذا الجسم النجمى ومعرفة

(*) علم يبحث فى أشكال الحياة فى العصور القديمة (المترجم) ·

خواص الغازات الموصلة للحرارة التى تتكون منها الشمس . وبالمثل نستطيع حساب درجة الحرارة داخل ثمرة بطاطس ساخنة من غير حاجة الى شقها اذا علمنا درجة حرارة السطح وقدرة مادتها على توصيل الحرارة .



(شكل رقم ١٢١)

التفاعل النووى الدائرى المسئول عن تولد طاقة الشمس .

واذا أضفنا هذه المعلومة عن درجة حرارة مركز الشمس الى ما نعرفه عن معدلات التفاعل فى التحولات النووية المختلفة نستطيع أن نضع يدنا على نوع التفاعل المسئول عن تولد الطاقة فى الشمس . وتعرف هذه العملية النووية الهامة باسم « دورة الكربون » وقد اكتشفها عالمان مختلفان من علماء الفيزياء فى نفس الوقت وهما « هـ. بيث » و « فيتس تسيكر » .

والتفاعل النووى الحرارى المسئول الأساسى عن انتاج الطاقة فى الشمس ليس قاصرا على عملية واحدة من عمليات التحول النووى ، ولكنه يتألف من سلسلة من التحولات المتصلة تكون معا ما يعرف **بسلسلة التفاعلات** . ومن أهم ملامح هذه السلسلة أنها **دائرية ومغلقة** تعود بنا من حيث أتينا بعد كل ست خطوات . ونرى من شكل (١٢١) الذى يمثل رسما برنامجيا لهذه السلسلة الشمسية أن **أهم المشاركين فيها هى : أنوية**

الكربون ، والنيتروجين بالاضافة الى البروتونات الحرارية التى تصطدم بهـــا ٠

فاذا بدأنا مثلا بالكربون العادى (C^{12}) نجد أن التصادم يؤدى الى تكوين نظير النيتروجين الخفيف (N^{13}) . وتحرير بعض الطـــاقة دون الذرية على صورة أشعة (γ) (جاما) ٠ وهذا التفاعل بالذات معروف لعلماء الفيزياء النووية كما أمكن الحصول عليه تحت الظروف المعمليـــة باستخدام بروتونات عالية الطاقة معجلة صناعيا ٠ وحيث ان نواة (N^{13}) غير مستقرة فانها تتخلص من ألكترون موجب أو جسيم بيتا موجب لتتحول الى نواة مستقرة لنظير كربون أثقل (C^{13}) ، وهذا النظير من المعروف أنه يوجد بكميات قليلة فى الفحم العادى ، وعندما يصطدم الكربون بعد ذلك ببروتون حرارى آخر يتحول الى نيتروجين عادى (N^{14}) مطلقا مزيدا من أشعة جاما المكثفة ٠ والآن تصطدم نواة (N^{14}) التى كان من الممكن أن نبدأ بها فى وصف التفاعل بنفس الســـــهولة التى بدأنا بها مع الكربون) مع بروتون حرارى آخر (الثالث) لتسمح بظهـــور نظير أكسجين غير مستقر (O^{15}) الذى سرعان ما يتحول الى (N^{15}) المستقر بطرد الكترون موجب ٠ وأخيرا يتلقى (N^{15}) بروتونا رابعا يصيبه فى القلب فينقسم الى جزأين غير متساويين أحدهما نواة C^{12} التى بدأنا بها ، أما الجزء الآخر فهو نواة الهليوم أو جسيم ألفا ٠

وهكذا نرى أن **أنوية الكربون والنيتروجين تتولد الى الأبد فى سلسلة التفاعل الحلقى (الدائرى) وتعمل كعامل مســـاعد فقط** كما يسميها الكيميائيون ٠ والنتيجة النهائية لهـــذه السلسلة من التفـــاعلات هى تكوين نواة هليوم واحدة من البروتونات الأربعة التى دخلت التفـــاعل واحدا بعد الآخر ، ومن ثم نستطيع أن نصف العملية كلها بأنها **تحول الهيدروجين الى هليوم نتيجة لدرجات الحرارة العالية وبمساعدة التفاعل الحفاز للكربون والنيتروجين ٠**

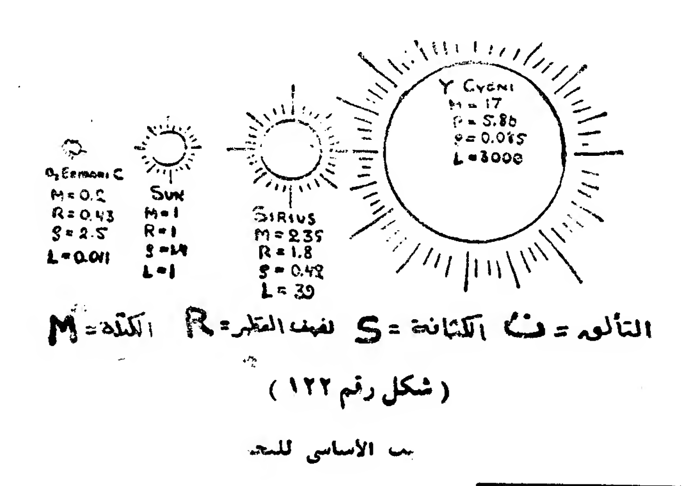
وقد استطاع « بته » أن يثبت أن الطاقة فى هذه السلسلة تحتاج حتى تنطلق الى درجة حرارة تصل الى ٢٠ مليون وهى **الكمية الفعلية من الطاقة التى تشعلها الشمس** ، وحيث ان كل التفـــاعلات الممكنة تكون نتائجها مخالفة للدليل الفيزيائى الفلكى فلابد لنا من أن نقبـــل **أن دورة الكربون والنيتروجين تمثل بصفة أساسية السبب الأول لتوليد الطاقة الشمسية ٠**

وهنا يجدر بنا أن نلاحظ أيضـــا أن دورة الكربون والنيتروجين الموضحة فى شكل (١٢١) تستغرق تحت درجة الحرارة الموجودة فى باطن

الشمس حوالى ٥ ملايين عاما ، ولذا عند نهاية هذه الفترة تخرج كل نواة من أنوية الكربون (أو النيتروجين) التى بدأت التفاعل بنفس الصورة التى كانت عليها فى البداية وكأنها لم تمس ولم تمر عليها هذه السنون ٠

ومن جهة الدور الأساسى الذى تقوم به ذرة الكربون فى هذه العملية هناك شيء ينبغى أن نقوله بالنسبة للنظرة القديمة التى تلخصت فى أن حرارة الشمس مبعثها الفحم ، فنحن لن نضيف اليها الا أن « الفحم » هنا ليس ذلك الوقود العادى ولكنه يؤدى بدلا من ذلك دورا أسطوريا أشبه بدور العنقاء (*) ٠

ويجب أن نلاحظ بصفة خاصة هنا أنه فى حين يعتمد انتاج الطاقة عن طريق التفاعل فى الشمس على الحرارة وكثافة الأجزاء المركزية فيها بصفة أساسية فانه يعتمد أيضا الى حد ما على محتويات جسم الشمس من هيدروجين وكربون ونيتروجين ٠ وهذا الاستنتاج يجعلنا نفكر فى الحال فى الطريقة التى نستطيع بها أن نحلل الغازات الشمسية عن طريق تحديد تركيز المواد الداخلة فى مثل التفاعل السابق بحيث يكون مناسبا تماما للمعان الذى يصدر عن الشمس ٠ وقد أجريت التقديرات المعتمدة على هذه الطريقة حديثا جدا على يدى « م٠ شواز تشيلد » فأدت الى اكتشاف **أن ما يزيد عن نصف المادة الشمسية يتكون من الهيدروجين النقى ، وأقل من النصف من الهليوم النقى وقليل جدا من كافة العناصر الأخرى ٠**

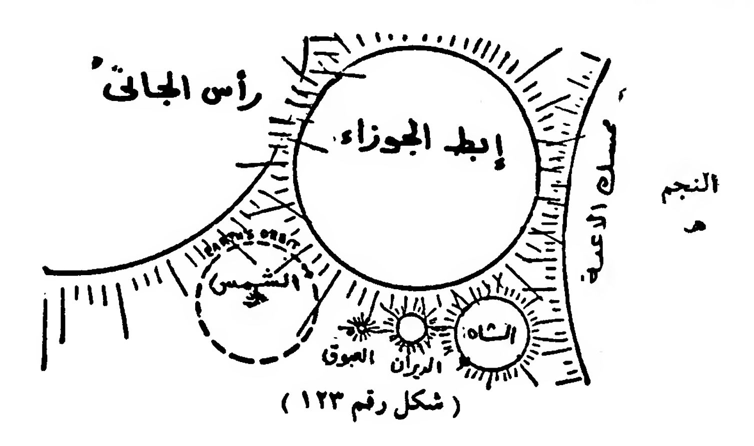


(شكل رقم ١٢٢)

ـب الأساسى للنجـ

(★) العنقاء طائر خرافى زعم قدماء المصريون أنه يعمر خمسة قرون أو ستة ، وبعد أن يحرق نفسه ينبعث من رماده وهو أتم ما يكون شبابا وجمالا (المترجم) ٠

وينسحب هذا التفسير بسهولة على أغلب النجوم الأخرى مما يجعلنا نستنتج أن النجوم المختلفة فى كتلتها تختلف درجات حرارتها من الداخل مما يعنى تبعيا اختلاف معدلات انتاجها للطاقة · وهكذا فان النجم المعروف باسم (O Eridani C) (*) وهو أخف من الشمس وزنا بخمس مرات يشع بقوة لا تتعدى ١٪ من قوة اشعاع الشمس · ومن جهة أخرى يشع النجم (X Canis Majoris A) المعروف باسم الشعرى اليمانية (Sirus) بقوة تفوق قوة الشمس بأربعين ضعفا (هذا النجم أثقل من الشمس بمرتين ونصف المرة) · وهناك أيضا نجوم عملاقة مثل (Y, 380 Cygni) (**) ، وهو أثقل من الشمس أربعين مرة وأقوى اشعاعا منها بمئات الآلاف من المرات · وفى جميع هذه الحالات يمكن تفسير العلاقة بين كتلة النجم واشعاعه على نحو مقبول جدا بأنها زيادة معدل تفاعل « دورة الكربون » نتيجة لارتفاع حرارة النجم من الداخل تبعا لما يسمى بـ « الترتيب الأساسى » للنجوم نجد أن زيادة الكتلة تؤدى الى زيادة نصف قطر النجم (من ٤٣ر من نصف قطر الشمس بالنسبة لـ (O_2 Eridani C) حتى ٢٩ مرة قدر مثيله فى الشمس بالنسبة لـ (Y 380 Cygni) والى نقص متوسط الكثافة فيها (من ٥ر٢ فى (O_2 Eridani C) ثم ٤ر١ فى الشمس حتى ٠٠٠٢ر لـ (Y 380 Cygni) وفى شكل ١٢٢ نجد بعض البيانات عن الترتيب الأساسى للنجوم ·



(شكل رقم ١٢٣)

النجوم العماليق والعماليق الكبرى بالنسبة لحجم نظامنا الشمسى ·

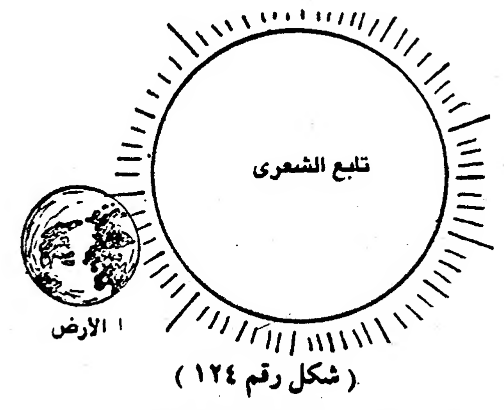
(★) أحد نجوم كوكبة النهر الجنوبية (المترجم) ·

(★★) أحد نجوم كوكبة شمالية تعرف بالدجاجة (المترجم) ·

وبالاضافة الى النجوم (العادية) التى تتحدد أنصاف أقطـــارها وكثافتها ولمعانها وفقا لكتلتها يجد علماء الفلك أنماطا من النجوم تختلف قطعا عن هذا النظام البسيط ·

فهناك من النجوم ما يعرف باسم « العملاق الأحمر » و « العملاق الأكبر » ، وهذه النجوم رغم أنها تحتوى على نفس الكم من المواد الذى تحتوى عليه النجوم (العادية) ذات اللمعان المساوى فى درجته لهـــا الا أنها ذات أبعاد خطية أكبر بكثير · فى الشكل (١٢٣) حاولنا أن نعطى لك صورة تقريبية لهذه المجموعة من النجوم غير العادية والتى تتضمن أسماء مشهورة (مثل
Capella, Ras Algethi, Betelguse, Aldebaran, Scheat (E Aurigae).
(العيوق والشـــاة والدبران وابط الجوزاء ورأس الجاثى والنجم هـ فى كوكبة ممسك الأعنة) ·

ومن الواضح أن أجسام هذه النجوم قد (تورمت) الى هذه الدرجة الهائلة نتيجة لعوامل داخلية ليس لها تفسير حتى الآن مما جعل كثافتها تنخفض كثيرا عن كثافة أى نجم عادى ·



(شكل رقم ١٢٤)

النجوم البيضاء المتقزمة بالنسبة للأرض

وعلى النقيض من هذه النجوم « المتورمة » نجد مجموعة أخرى من النجوم ذات الأقطار الصغيرة · ومن بين نجوم هذه المجموعة ذلك النوع المعروف باسم « الأقزام البيضاء » (٤) ويظهر أحدها فى شكل (١٢٤)

(٤) أصل هاتين التسميتين (« العماليق الحمراء » و « الأقزام البيضاء ») يرجع الى العلاقة بين لمعان هذه النجوم ومساحة سطوحها · اذ أن النجوم المخلخلة تكون مساحة أسطحها كبيرة جدا بالنسبة لكم الاشعاع الصادر عن باطنها ، ولذا تكون درجة حرارة هذه الأسطح منخفضة نسبيا مما يكسبها لونا أحمر · أما سطوح النجوم العالية الكثافة فلابد وأن تكون ملتهبة جدا أو ملتهبة الى درجة البياض ·

بجانب الأرض للمقارنة · ويتكون « تابع الشعرى اليمانية » من كتلة قريبة من كتلة الشمس فهو لا يزيد عن ثلاثة أضـــعاف حجم الأرض ، أما متوسط كثافته فلابد وأنه ٥٠٠ر٠٠٠ ضـــعف لكثافة الماء ! وليس هناك شك تقريبا فى أن نجوم الأقزام البيضاء تمثل مرحلة متأخرة من مراحل التطور النجمى وهى تلك المرحلة التى يكون فيها قد استهلك كل الوقود الهيدروجينى المتاح له ·

وكما رأينا من قبل ان مصدر حياة النجوم هو التفاعل الكيميائى البطىء الذى ينحول الهيدروجين فيه الى هليوم · ولما كان النجم الحديث التكوين وهو هذا النجم الذى خرج لتوه الى الوجود نتيجة تكثف المـادة النجمية المنتشرة للفضاء يحتوى على أكثر من ٥٠٪ من الهيدروجين بالنسبة لكتلته الكلية فأننا ننتظر له دورة حياة طويلة · وهكذا يمكن للمرء أن يحسب من اللمعان الظاهر للشمس مثلا أنها تستهلك حوالى ٦٦٠ مليون طن من الهيدروجين فى الثانية ، وحيث ان كتلتها تصل الى ٢ × ١٠^٢٧ طنا ، ونصف هذه الكتلة من الهيدروجين فمن الواضح اذن أن عمرها المفترض سيبلغ ٥ × ١٠^١٨ ثانية أو حوالى ٥ × ١٠^١٠ عاما ! فاذا تذكرنا أن عمر شمسنا الآن لا يزيد عن ٣ × ١٠^٩ عاما أو ٤ × ١٠^٩ عاما (٥) تقريبا نوجدنا أنها لا تزال تعتبر صغيرة السن جدا وسوف تستمر فى بث اشعاعها بنفس قوتها الحالية تقريبا لبلايين الأعوام القادمة ·

ولكن الشموس الأكبر كتلة والأشد بالتالى بريقا مستهلك مئونتها الأصلية من الهيدروجين بمعدل أعلى بكثير · لذا فان « الشعرى اليمانية » مثلا وهى أثقل من الشمس بـ ٣ر٢ مرة وتحتوى بالتالى على قدر أكبر من الهيدروجين بنسبة ٣ر٢ مرة الى الشمس أشد لمعانا بـ ٣٩ مرة من الشمس وتستهلك وقودا أكثر منها بـ ٣٩ مرة فى نفس الفترات الزمنية ولذا فان عمر « الشعرى اليمانية » لا يزيد عن ٣ × ١٠^٩ عاما بالنسبة لما تحتوى عليه من وقود هيدروجينى · وفى النجوم الأشد لمعانا مثـــل Y 380 Cygni (أكبر من كتلة الشمس بـ ١٧ مرة وأشد بريقا منها بـ ٣٠٠٠٠ مرة) يكون الوقود الهيدروجينى الأصلى فيهـــا غير كاف الا لـ ١٠٠ مليون عام تقريبا ·

ما الذى يحدث للنجم عندما ينضب أخيرا معينه من الهيدروجين ؟ .. حيث أن الطاقة النووية التى كانت تحافظ على سطوع النجم فى درجـة ثابتة تقريبا أثناء فترة حيـــاته قد انتهت فلابد لجسم النجم أن ينكمش وبالتالى يمر فى مراحل متعاقبة من ازدياد الكثافة شيئا فشيئا ·

---

(٥) اذ أن نظرية « فيتس تسيكر » تنص على أن الشمس ظهرت قبل النظام الكوكبى بوقت غير طويل وعمر الأرض قد قدر فى حدود ذلك النطاق الزمنى ·

وتكشف لنا المشاهدات الفلـــكية عن وجود عدد كبير من هــذه « النجوم المنكمشة » التى يزيد متوسط كثافتها عن الماء بمعامل قـــدره مئات الآلاف من المرات ٠ ولا تزال هذه النجوم ساخنة جدا ونتيجة لارتفاع درجة حرارة سطوحها فهى تشع ضوءا أبيض يعتبر خلفية واضحة للنجوم الصفراء أو الحمراء العادية ، وهذه النجوم صغيرة الحجم جدا وأقل فى لمعانها من الشمس بآلاف المرات ٠ ويطلق علماء الفلك على النجوم فى هذه المراحل المتأخرة من التطور اسم « الأقزام البيضاء » وهذا المصطلح يجمع فى دلالته بين الأبعاد الهندسية ودرجة اللمعان الكلى ٠ وبمرور الزمن سوف تفقد الأجسام البيضاء بريقها تدريجيا ثم تصبح فى النهـــاية « أقزام سوداء » وهى تلك الكتل الكبيرة الباردة من المواد والتى لا يمكن رصدها من خلال المشاهدات الفلكية المعتادة ٠

ويجدر بنا على أية حال أن نلاحظ أن عمليـــــة التقلص والتبريد التدريجى للنجوم المعمرة التى استهلكت كل وقودها الهيدروجينى الهام لا تنهى حياتها بشكل منظم وتدريجى تماما ، فهى تقطع « آخر خطواتها » قبل الفناء غالبا تحت تأثير الانتفاضات القوية وكأنها تصارع قدرها ٠

وتعتبر هذه الأحداث المأساوية المعروفة باسم **الانفجارات والانفجارات العظمى** (*) تعتبر من أكثر موضوعات الدراسات النجمية اثارة ففى خلال أيام معدودات يزداد لمعان نجم قد لا يختلف عن غيره من النجوم بمعامل قدره مئات الآلاف من المرات ويصبح سطحه شديد السخونة جدا ٠ وتدل دراسة التغيرات التى تطرأ على الطيف المصاحب لهذه الزيادة المفاجئة فى اللمعان على أن جسم النجم يزداد التهابا وتورما ، وأن الطبقات الخارجية له تتمدد بسرعة تبلغ حوالى ٢٠٠٠ كم/ث ٠ على أن ازدياد اللمعان ليس الا شيئا مؤقتا وما أن يبلغ حده الأقصى حتى يبدأ النجم في الانطفاء ببطء ٠ وعادة يمر عام قبل أن يعود لمعان النجم المنفجر الى حجمه الأصلى ، هذا على الرغم من أنه قد لوحظت اختلافات طفيفة فى الاشعاع النجمى بعـد فترات أطول بكثير ٠ فعلى حين أن بريق النجم يعود كما كان فلا يمكن أن نقول نفس الشىء عن الخواص الأخرى ، اذ أن هناك جزء من المجال النجمى الذى يشارك فى عملية التمدد السريع أثناء مرحلة الانفجار يستمر فى حركته الى الخارج ويلف الشمس بغشاء من الغازات اللامعة يتضخم حجمه مع الزمن ٠ على أن الدليل الخاص بالتغيرات التى تدوم فى النجم ليست بعد محددة اذ لم يتم تصوير طيف نجم منفجر الا مرة واحدة (انفجـار أوريجا ١٩١٨) وحتى هذه الصورة لم تكن جيدة تماما بحيث لا يمكن

(*) أو المتجددات والمتجددات العظمى لتجدد الانفجارات (المترجم) ٠

التأكد من حرارة السطح أو قطر النجم فى المرحلة السابقة مباشرة على انفجاره ·

ويمكن الحصول على براهين أفضل بالنسبة لعواقب الانفجـــار فى النجم من ملاحظة « الانفجارات العظمى » وهى هذه الانفجارات السريعة التى تحدث في نظامنا النجمى مرة واحدة كل عدة قرون (على خلاف الانفجارات العادية التى تقع بمعدل انفجار كل ٤٠ سنة) وهى تفوق في لمعانها الانفجارات العادية بمئات الآلاف من المرات · وعندما تصل هذه النجوم الى قمة لمعانها تقترب الأشعة المنبعثة منها فى قوتها من الضياء المنبعث من نظام نجمى برمته · ومن الأمثلة النموذجية فى درب التبانة على هـــــذه الانفجارات العظمى النجم الذى رصده « تايكوبرا » عام ١٥٧٢ وكان ضوؤه واضحا في وسط النهار المشرق ، والنجم الذى رصده علماء الفلك الصينيين عام ١٠٥٤ ، وربما كان نجم « بيت لحم » كذلك من بين هذه النجوم ·

وقد تم رصد أول انفجار عظيم خارج مجرتنا عام ١٨٨٥ فى النظام النجمى المجاور لنا (سديم اندروميدا) وقد زاد لمعانه عن لمعان كافة النجوم المتفجرة التى سبقت مشاهدتها فى هذا النظام بألف مرة · ومع الندرة النسبية لهذه الانفجارات السريعة الا أن دراسة خواصها قد أدت الى تقدم عظيم فى السنوات الأخيرة بفضل مشاهدات « باد » و « تسفيكى » اللذين كانا أول عالمين يلاحظان نوعين من الانفجار ويبدآن دراسة منطقية للانفجارات العظمى التى تظهر على البعد فى مختلف النظم النجمية ·

وعلى الرغم من التباين الرهيب فى درجة التألق الا أن الانفجارات العظمى تتسم بالتشابه مع الانفجارات العادية فى كثير من ملامحها · فالارتفاع السريع فى درجة التألق والانخفاض البطىء الذى يعقبه يمكن التعبير عنهما عمليا فى كلتا الحالتين بنفس المنحنى (باستثناء مقيـــاس الرسم) والانفجار الأعظم يؤدى الى تمدد الغلاف الغازى على نحو سريع كما يحدث فى الانفجار العادى وان كان تمدد الأول يزيد كثيرا عن تمدد الأخير · والواقع أنه فى حين أن الأغلفة الغازية المنبعثة عن الانفجار العادى يقل حجمها شيئا فشيئا ثم تذوب وتتبدد بسرعة فى الفضاء المحيط نجد أن الكتل الغازية المنطلقة من الانفجار الأعظم تكون سديما كثيفا يشير الى موقع الانفجار · ونستطيع على سبيل المثال أن نعتبر ما يطلق عليـــه « سديم السرطان » أثرا ــ لا سبيل الى الشك فيه ــ للانفجار الأعظم الذى وقع عام ١٠٥٤ وكانت الغازات الناتجة عنه سببا فى ظهور هذا السديم ·

وفى هذا الانفجار بالذات نجد دليلا على مكان النجم الذى بقى بعد الانفجار · فالحقيقة أن المشاهدات تدل على وجود نجم خافت فى مركز

« سديم السرطان » وهذا النجم يندرج تحت فئة الأقزام البيضاء عالية الكثافة بالنسبة لما لوحظ من خواصه ٠

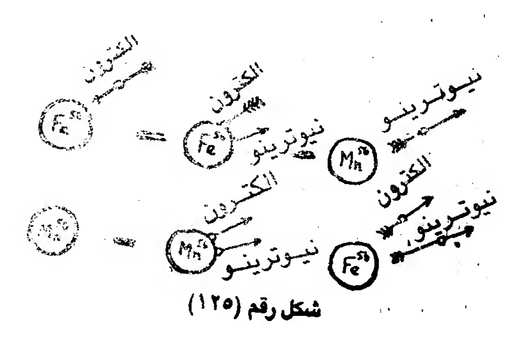
ويشير هذا الى أن عملية الانفجار الأعظم تشبه فيزيقيا الانفجار العادى وان كانت صورة مكبرة منه ٠

وبتبنى « نظرية الانهيار » فى الانفجارات العادية والعظمى ينبغى قبل أى شىء أن نسأل أنفسنا عن الأسباب التى قد تؤدى الى هذا الانكماش السريع فى الجسم النجمى بأكمله ٠ ومن انثابت تماما فى الوقت الحاضر أن النجوم عبارة عن كتل عملاقة من الغازات الساخنة وأن حالة التوازن تعتمد على أن الضغط الغازى العالى الناجم عن المادة الساخنة فى داخل النجم يحافظ على حجم هذا النوع ٠ وطالما كانت « حلقة الكربون » التى شرحناها فيما سبق مستمرة فى مركز النجم فان الطاقة المنبعثة على سطحه تتجدد بالطاقة دون الذرية المنتجة داخل الشمس ولا يتغير النجم الا بدرجة ضئيلة جدا ٠ وبمجرد أن يستهلك النجم كل ما فيه من هيدروجين لا يجد طاقة دون ذرية بعد ذلك فلا يستطيع الا أن ينكمش ومن ثم يحول كل طاقته المكنة من جاذبية الى اشعاع ٠ وهذه العملية تكون بطيئة جدا نتيجة لأن اللاشفافية العالية لمادة النجم تجعل انتقال الحرارة من داخل النجم الى خارجه يتم فى بطء شديد ٠ فيقدر الزمن اللازم لانكماش شمسنا الى نصف حجمها الحالى مثلا ب ١٠٠ مليون عام أو يزيد ٠ وأى محاولة للتقلص فى زمن أقل سوف تؤدى الى انطلاق كم أكبر من الطاقة الجاذبية فى الحال ٠ ومن هذا نرى أن السبيل الوحيد للاسراع بمعدل الانكماش حتى نصل الى مرحلة الانهيار الكامل كما فى الانفجارات والانفجارات العظمى هو استنباط ميكانيزم معين يقضى على الطاقة المنطلقة داخل النجم نتيجة للانكماش ٠ فاذا كان من الممكن مثلا أن نقلل من عتامة (لا شفافية) المادة النجمية بمعامل قدره عدة بلايين لأصبح انهيار النجم أسرع بنفس النسبة بحيث لا يستغرق أكثر من بضعة أيام ٠ وهذا الاحتمال مستبعد تماما لأن النظرية الحالية للاشعاع تؤكد أن لا شفافية المادة النجمية هى أحد المظاهر المنعكسة عن كثافة ودرجة حرارته ولا يمكن خفضها حتى ولو بمعامل انخفاض عشرة فى مائة ٠

ولقد طرح مؤلف الكتاب وزميله د٠ « سكنبرج » مؤخرا فكرة تفيد بأن السبب الحقيقى لانهيار النجم مرده الى تكون النويترينات بكميات كبيرة ، هذه الجسيمات النووية التى تعرضنا لها بالتفصيل فى الفصل السابع من هذا الكتاب ، فمن الواضح تعريف النويترينو أنه أنسب العوامل للتخلص من فائض الطاقة الموجود داخل النجم المنكمش حيث ان جسم النجم بأكمله لا يختلف فى نفاذيته بالنسبة للنويترينات عن

شفافية الزجاج بالنسبة للضوء · ويبقى أن نتأكد أن النويترينات تنتج وبكميات كبيرة فى باطن النجم المنكمش أو تصبح الفكرة خاطئة ·

أما التفاعلات التى لابد من حدوثها لانبعاث النويترينات فتكمن فى أسر أنوية العناصر المختلفة للألكترونات سريعة الحركة · وعنـدما ينفذ ألكترون سريع الى نواة الذرة يخرج « نويترينو » عالى الطاقة فى الحال ، ويحتجز الالكترون لتتحول النواة الأصلية الى نواة أخرى غير مستقرة لها نفس الوزن الذرى ·



شكل رقم (١٢٥)

عملية « يوركا » فى نواة الحديد بما تؤدى اليه من تكوين عدد غير محدود من النويترينات

ولما كانت غير مستقرة فانها لا تبقى فى الوجود الا فترة محددة ثم تتحلل بعد ذلك طاردة ألكترونا بصحبة النيوترينو آخر · ثم تبدأ العملية من جديد وتؤدى الى انبعاث آخر النيوترينو جديد (شكل ١٢٥) ·

واذا كانت الحرارة والكثافة عاليتين بما يكفى ، كما فى باطن النجم المنكمش ، تكون الطاقة المفقودة عن طريق طرد النويترينات عالية جدا ، فمثلا يكون أسر الالكترونات ثم اعادة طردها من نواة ذرة الحديد مؤديا الى فقد طاقة بالنويترينات تقدر ب ١٠^١١ ارج (*) لكل جرام فى الثانية · وفى حالة الاكسجين (حيث يكون الناتج غير المستقر هو النيتروجين المشع بفترة انحلال قدرها ٩ ثوان) قد يفقد النجم ما يقرب من ١٠^١٧ ارج فى الثانية لكل جرام من مادته · وفى هذه الحالة يكون معدل فقدان الطاقة عاليا الى درجة أن انهيار النجم لا يتطلب أكثر من ٢٥ دقيقة ·

ومن هذا نرى أن بداية اشعاع النويترينو من المراكز الملتهبة فى النجم الساخن كافية تماما لتفسير أسباب الانهيار فى النجوم ·

(*) وحدة الشغل المطلق فى النظام المترى · (المترجم) ·

ومع ذلك لابد أن نشير الى أنه على الرغم من امكانية تقدير معدل الطاقة المفقودة نتيجة انطلاق النويترينات بطرق بسيطة نسبيا الى أن دراسة عملية انهيار النجم تضع أمامنا عقبات رياضية جمة الى درجة أننا لا نستطيع تفسير حوادثها حتى الآن الا تفسيرا نوعيا (وليس كميا) ٠

وبديهى أن نتخيل أنه نتيجة نقص الضغط الغازى داخل النجم تبدأ الكتل التى تكون بنيته الخارجية العملاقة فى الاتجاه الى مركزه تحت تأثير قوى الجاذبية ٠ ولكن كم نجم يكون فى حالة دوران سريع ٠ كما نعرف لذا فان عملية الانهيار تتم فى شكل غير متماثل وتنهار الكتل القطبية (التى تقع بالقرب من محاور الدوران) أولا بحيث تضغط على الكتل الاستوائية مما يؤدى الى انبعاجها الى الخارج كما فى شكل (١٢٦) ٠

(شكل رقم ١٢٦)

مرحلة مبكرة واخرى متقدمة من مراحل الانفجار الأعظم

وهذا يجعل المادة التى كانت قبلا موجودة فى أعماق باطن النجم ، وحرارتها بالملايين تطفو على السطح مما يفسر الارتفاع المفاجىء فى درجة لمعان النجم ٠ وباستمرار هذه العملية تتجمع مادة النجم القديم المنهارة فى مركزه ويتحول الى قزم أبيض عال الكثافة فى حين تبرد الكتل المطرودة تدريجيا وتستمر فى التمدد مكونة هذا النوع من السدم الذى نشاهده فى « سديم السرطان » ٠

٣ ــ التطور المعكوس والكون المتمدد :

عند التفكير فى الكون ككل نجد أنفسنا فى الحال فى مواجهة مشاكل حيوية تتعلق بالاحتمالات التى مر بها فى زمن التطور ٠ فهل يجب علينا

أن نفترض أنه كان وسيظل دائما على نفس الحال الذى نراه عليه الآن تقريبا ؟ أم أن الكون فى حالة تطور مستمر يمر خلالها بعدة مراحل مختلفة ؟ .

والتأمل فى الاجابة التى نعتمد فيها على الحقائق التجريبية الأولية وفى حصاد مختلف أفرع العلوم يفضى بنا الى اجابة قاطعة **فالكون فى حالة تطور تدريجى** ، وصورته فى الماضى البعيد وحالته فى الحاضر وما سيكون عليه فى المستقبل تمثل ثلاث مراحل مختلفة تماما من الوجود . وتشير الحقائق العديدة التى جمعت من مختلف أفرع العلوم الى أن كوننا بدأ بداية معينة ، ثم تحول الى وضعه الحالى فى عملية تطور تدريجية . وكما رأينا من قبل أن عمر نظامنا الكوكبى يقدر ببلايين السنين وهذا الرقم يفرض نفسه علينا نتيجة التصدى لهذه المشكلة واقتحامها على جبهات مختلفة . كما أن تكوين القمر كما يتضح لنا مرده الى انتزاع مادته من جسم الأرض تحت تأثير قوى الجاذبية الشمسية العنيفة ، وهذا أمر لا يمكن أن يكون قد تم الا منذ بلايين السنين .

وتشير دراسة تطور بعض النجوم بعينها (انظر الجزء السابق) الى أن أغلب هذه النجوم التى نراها الآن فى السماء تبلغ من العمر **عدة بلايين من السنين** أيضا . ودراسة حركة النجوم بصفة عامة وخاصة الحركة النسبية للنظم الثنائية والثلاثية الأنجم ، بالاضافة الى النظم الأكثر تعقيدا وهى المجموعات المعروفة باسم **الحشود المجرية** تؤدى بعلماء الفلك الى استنتاج أن هذه الأشكال لا يمكن أن يزيد عمر وجودها عن مثل هذه الفترات أيضا .

وهناك دليل مستقل تماما نستقيه من اعتبارات الوفرة النسبية لعناصر كيميائية مختلفة ، ولا سيما كميات العناصر المشعة مثل الثوريوم واليورانيوم التى تتحلل تدريجيا . فاذا كانت هذه العناصر لا تزال باقية رغم تحللها المستمر فى الكون فلابد أن نفترض اما أنها تنتج باستمرار من أنوية أقل وزنا حتى وقتنا هذا ، واما أنها البقية الباقية من مخزون كبير صنعته الطبيعة فى الماضى البعيد .

وتدفعنا معرفتنا الحالية بقوى التحول النووى الى استبعاد الاحتمال الأول ، والسبب فى ذلك أن درجة الحرارة حتى فى باطن الأرض أشد النجوم التهابا لا تصل الى الحد المطلوب ل « طهى » النواة الثقيلة المشعة . والواقع كما رأينا فى الجزء السابق أن حرارة النجوم من الداخل تقاس بعشرات الملايين من الدرجات ، ولكن « طهى » الأنوية المشعة الثقيلة باستخدام أنوية أخف منها يتطلب عدة بلايين من الدرجات .

وبناء عليه لا مفر لنا من افتراض أن أنوية العناصر الثقيلة قد تكونت فى مرحلة قديمة من مراحل تطور الكون ، وفى هذه المرحلة بالذات كانت كل العناصر واقعة تحت تأثير درجات حرارة رهيبة ومعدلات ضغط شديدة جدا بالتالى • ونستطيع أيضا أن نصل بالتقريب الى تاريخ هذه المرحلة « الحرجة » من المراحل الكونية فنحن نعرف أن متوسط فترة عمر الثوريوم واليورانيوم ٢٣٨ هى ١٨ ، ٤½ مليون عام على الترتيب • وهذان المعدنان لم تتحلل مادتهما منذ أن تكونا اذ أنهما فى الوقت الحاضر متوفرين تماما كالعناصر الثقيلة الأخرى من الأنواع المستقرة • ومن جهة أخرى فان اليورانيوم ٢٣٥ الذى لا تزيد فترة عمره عن نصف بليون عام أقل توفرا بنسبة ١٤٠ مرة من اليورانيوم ٢٣٨ • وهذه الوفرة الكبيرة لليورانيوم ٢٣٨ والثوريوم تدل على أن تكوين العناصر ربما كان يرجع الى بضعة بلايين من السنين ، وهذه الكمية الصغيرة من اليورانيوم ٢٣٥ تجعلنا قادرين على تحديد فترة عمر أكثر دقة • والواقع أنه لو كانت كمية هذا العنصر تقل الى النصف كل ٥٠٠ مليون عام فلابد وأن سبع فترات قد مرت عليه أى ٣ر٥ × ١٠^٩ عاما حتى تصبح كميته $\frac{١}{١٤٠}$ من كمية اليورانيوم ٢٣٨ (اذ أن ½ × ½ × ½ × ½ × ½ × ½ × ½ = $\frac{١}{١٢٨}$) •

وهذا التقدير لعمر العناصر الكيميائية والمبنى على معلومات للكيمياء النووية فحسب يتفق تماما مع تقدير عمر الكواكب والنجوم والمجموعات النجمية بالمعلومات الفلكية البحتة ! •

ولكن كيف كان حال الكون فى هذه المرحلة المبكرة منذ عدة بلايين من الأعوام عندما كان كل شىء قد تكون على ما يبدو ؟ وما هى التغيرات التى ربما تكون قد حدثت فى الوقت ذاته لكى يتحول الكون الى حالته التى نراه عليها الآن ؟ •

ان أكثر الأجوبة على السؤال السابق شمولا يمكن العثور عليها عند دراسة ظاهرة « تمدد الكون » • وقد رأينا فى الفصل السابق أن الفضاء الكونى الواسع يمتلىء بعدد كبير من النظم النجمية العملاقة أو المجرات ، وأن شمسنا هى مجرد نجم واحد ضمن بلايين النجوم التى توجد فى مثل هذه المجرات المعروفة عامة باسم درب التبانة وقد رأينا أيضا أن هذه المجرات تتوزع بشكل متجانس تقريبا فى الفضاء على مدى البصر (مع الاستعانة بتلسكوب ٢٠٠ بوصة طبعا) •

وبدراسة الأطياف الصادرة عن هذه المجرات البعيدة لاحظ علماء مرصد ويلسون ومعهم « اى هوبل » أن خطوط الطيف تنحاز قليلا نحو

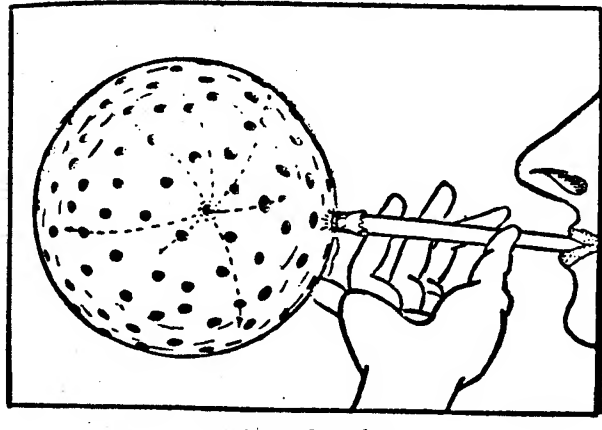
الحد الأحمر من هذا الطيف ، وان هذه الازاحة المعروفة **بالازاحة الحمراء** تكون أقوى فى المجرات البعيدة . ووجد فى الحقيقة أن « الازاحة الحمراء » فى المجرات المختلفة تتناسب طرديا مع بعد المجرة عنا .

وأنسب تفسير لهذه الظاهرة **أن نفترض أن كافة المجرات تبتعد عنا بسرعة تتزايد كلما زادت المسافة بيننا وبينها** . وهذا التفسير يعتمد على ما يطلق عليه « ظاهرة دوبلر » وهى تجعل الضوء الآتى الينا من مصادر تتحرك فى اتجاهنا يغير لونه نحو الاتجاه البنفسجى من الطيف والضوء الذى يصلنا من مصادر تبتعد عنا يغير لونه نحو الاتجاه الأحمر من الطيف . وحتى يمكن ملاحظة الازاحة لابد بالطبع من أن تكون السرعة النسبية للمصدر بالقياس الى موضع الراصد كبيرة الى حد ما . وعندما قبض على بروفيسور « ر.و وود » لاختراقه لاشارة حمراء فى بلتيمور وقال للقاضى أن هذه الظاهرة جعلته يرى الاشارة خضراء لأنه كان يقترب منها بسيارته ظن القاضى أنه يسخر منه . ولو كانت معرفة القاضى بالفيزياء أكثر من ذلك لكان قد سأل بروفيسور « وود » أن يحسب السرعة التى لابد وأن السيارة كانت تسير بها ، وفى هذه الحالة كان سيحكم عليـــه بغرامة سرعة ! .

ونعود الى مشكلة الازاحة الحمراء التى ترى فى طيف المجرات فنجد أنفسنا أمام نتيجة غير مؤكدة . وتبـــدو جميع المجرات كما لو كانت تفر من أمام درب التبانة بسرعة وكأنها وحش فضـــائى مخيف أشـبه بفرانكشتين ! فما هى اذن الخواص المخيفة لنظامنا النجمى ولماذا يبدو مختلفا بين المجرات ؟ اذا تفكرت فى هذا السؤال قليلا ستجد بسهولة أن مجرتنا لا تختلف فى شىء معين عن باقى المجرات ، وأن باقى المجرات لا تفر منها بالذات ولكنها تفر جميعا من بعضها البعض . وتخيل بالونا من المطاط به نقش على هيئة نقاط مطبوعة على سطحه (شكل ١٢٧) فاذا بدأت فى نفخه بالتدريج يتمدد سطحه الى أحجام أكبر وأكبر ، وتتباعد المسافات بين كل نقطة والأخرى باستمرار بحيث لو كانت حشرة واقفة على احدى هذه النقاط لظنت أن النقاط الأخرى « تفر بعيدا عنها » . وهذا بالاضافة الى أن سرعة تقهقر النقاط المختلفة على البـــالون المتمدد سوف تتناسب طرديا مع بعدها عن مكان الحشرة .

وهذا المثال لا شك يوضح تماما أن التقهقر الذى لاحظه « هبـــل » لا علاقة له بخواص أو موضع مجرتنا ولكن يمكن تفسيره ببســـاطة على **أنه يرجع الى التمدد العام والموحد لنظـــام المجرات المبعثرة فى فضـــاء الكون** .

ويستطيع المرء من معرفة سرعة التمدد والبعد بين المجرات المتجاورة فى الوقت الحاضر أن يستنتج **أن هـذا التمدد لابد أنه بدأ لخمسة بلايين عام خلت** (٦) ٠



(شكل رقم ١٢٧)

النقاط تفر من بعضها عند تمدد البالون

وقبل هذا العصر الذى بدأت السحب النجمية (التى نطلق عليها الآن المجرات) تمثل فيه قطاعات من التوزيعات المتجانسة للنجوم فى فضاء الكون ، بل وقبل ذلك أيضا كانت النجوم نفسها منضـــغطة مع بعضها وتملأ الكون بغازات ساخنة مسعورة ٠ واذا رجعنا بالزمن الى الوراء أبعد من ذلك سنجد أن هذه الغازات كانت أكبر كثافة وأشـــد سخونة وقد كان ذلك ـ أغلب الظن ـ فى الحقبة التى تكونت فيها العناصر الكيميائية المختلفة (ولا سيما العناصر المشعة) ٠ وسنسير الى الوراء مع الزمن خطوة أخرى لنجد أن مادة الكون كانت منضغطة فى سائل نووى عظيم الكثافة هائل الحرارة (ارجع الى الفصل السابع) ٠

والآن بجمع هذه الملاحظات نستطيع أن نتبين الحدود الفاصـــلة التى ميزت مراحل عملية التطور وفقا لترتيبها الزمنى الصحيح ٠

وتبدأ القصة بالمرحلة الجنينية للكون عندما كانت المادة التى نستطيع

---

(٦) تنص بيانات « هبل » على أن متوسط البعد بين كل مجرتين متجاورتين ١ر٧ مليون سنة ضوئية (أو ١ر٦ × ١٠^١٩ كم) فى حين أن سرعة التباعد المتبادل بينهما ٣٠٠ كم/ث ٠

وبافتراض وحدة معـــدل التمـــدد يكون الزمن = (١ر٦ × ١٠^١٩) / ٣٠٠ = ٥ × ١٠^١٦ ث

= ١.٨ × ١٠^٩ عام وتشير تقديرات أحدث الى أن عمر التمدد أقدم من ذلك ٠

رؤيتها الآن على مدى البصر بتلسكوب مرصد ويلسون (فى حدود نصف قطر مقدار ٥٠٠٥ مليون سنة ضوئية) منضغطة فى كرة لا يزيد نصف قطرها عن ٨ أضعاف نصف قطر الشمس (٧) • ورغم ذلك فان هـــذه الكثافة الهائلة لم تستمر على حالها فترة طويلة جدا اذ أن التمدد السريع قد أدى بلا شك الى خفض كثافة الكون الى درجة تساوى كثافة الماء مليون مرة فى الثانيتين الأوليين ثم الى كثافة الماء العادية فى ساعات قلائل • وفى هذا العصر تقريبا لابد أن هذا الغاز المتصل قد تفكك الى كرات غازية منفصلة وهى النجوم الآن • ثم تباعدت هذه النجوم عن بعضها نتيجة التمدد المستمر فتحللت فيما بعد الى سحب نجمية منفصلة وهى التى تسمى الآن بالمجرات ولا تزال تفرض بعضها البعض الى أعمـــاق الكون المجهولة •

والآن نستطيع أن نسأل أنفسنا عن القوى المسئولة عن تمدد الكون ؟ وهل سيتوقف هذا التمدد أو هل سيتحول الى انكماش ؟ • وهل هناك احتمال فى أن كتل الكون المتمدد سوف تنقلب علينا وتضغط نظـــامنا (درب التبانة) ، ونظامنا النجمى والشمس والأرض والبشر عليها الى فقاعة ذات كثافة نووية ؟

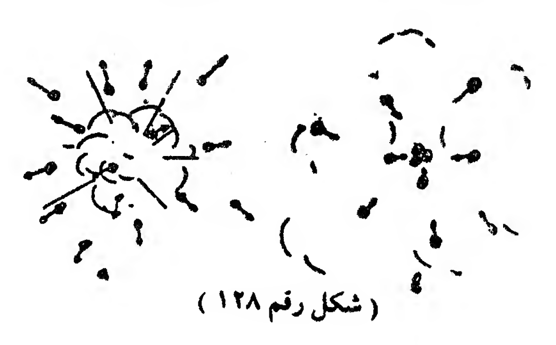
وفقا للاستنتاجات المعتمدة على أفضل المعلومات المتـــاحة نستطيع القول بأن ذلك يستحيل أن يحدث • فمنذ قديم الزمان عندما بدأت أولى مراحل التطور تمزقت كل الروابط التى ربما كانت مسئولة عن تماسك الكون وهو الآن يتمدد الى ما لا نهاية بمقتضى قانون القصـــــور الذاتى البسيط • وهذه الروابط كانت تتمثل فى قوى الجاذبية التى وقفت حائلا دون تمزق الكون •

وتصور الآن قذيفة مدفعية تنفجر فى الفضاء فترسل شظاياها فى كافة الاتجاهات (شكل ١٢٨ أ) • فسوف تطير الشظايا بتأثير الانفجار

---

(٧) حيث ان كثافة السائل النووى $= ١٠^{١٤} \frac{جم}{سم^{٣}}$ ومتوسط كثافة المادة الفضائية حاليا هى $١٠^{-٣٠}$ جم/سم^{٣} فان الانكماش الخطى كان $\sqrt[٨]{\frac{١٠^{١٤}}{١٠^{-٣٠}}}$ لذا فان المسافات الحالية وهى ٥×١٠^{٨} سنة ضوئية لم تكن تزيد فى ذلك الوقت عن $\frac{٥ \times ١٠^{٨}}{٥ \times ١٠^{١٤}} = ١٠^{-٦}$ سنة ضوئية = ١٠ [illegible] كم •

ضد قوى الجاذبية التى تعمل على ضمها مرة أخرى كما كانت · وبديهى أن طاقة الجذب الكامنة فى حالة القذيفة يمكن اهمالها ، فهى من الضعف بحيث تعجز عن التأثير على حركة الشظايا فى الفضاء · ومع ذلك فلو كانت هذه القوى أكبر من ذلك ، لاستطاعت أن توقف تطاير الشظايا وتعيدها مرة أخرى الى مركز الجذب المشترك (شكل ١٢٨ ب) · والتساؤل عما اذا كانت الشظايا ستعود الى المركز أم ستستمر فى مسيرتها لا يمكن معرفة اجابته الا بمعرفة القيم النسبية لطاقتها الحركية ، والطاقة الكامنة للجذب المتبادل (طاقة الوضع) ·



(شكل رقم ١٢٨)

واستبدل بشظايا القذيفة المجرات المنفصلة وستجد أمامك صورة للكون المتمدد كما تحدثنا عنه فى الصفحات السابقة · وهنا على أية حال تزداد أهمية الضخامة البالغة لشظايا المجرات كل على حدة بالنسبة لطاقاتها الحركية (٨) · لذا فان مستقبل التمدد لا يمكن أن يتحدد الا بالدراسة الواعية للقوتين الداخلتين فى هذه العملية ·

ووفقا لأفضل المتاح من بيانات عن كتل المجرات يبدو أن الطاقة الحركية للمجرات المتباعدة أكبر بعدة مرات من طاقة الوضع المتبادلة بينها مما يترتب عليه **أن هذا الكون سيستمر فى التمدد الى ما لا نهاية دون أن تكون هناك أى فرصة لانكماشه أو تقاربه مرة أخرى** · ومع ذلك ينبغى أن نتذكر أن أغلب البيانات الرقمية الخاصة بالكون ليست دقيقة تماما بصفة عامة · ومن الممكن أن تسفر الدراسات المستقبلية عن عكس هذا الاستنتاج ولكن حتى لو توقف الكون عن التمدد فجأة ، وانقلب اتجاه حركته فسوف يكون أمامه بلايين الأعوام قبل أن يحل هذا اليوم الرهيب الذى وصفته الأغنية الزنجية بـ « يوم تتهاوى النجوم » وقبل أن تسحقنا أوزان المجرات المنهارة ! ·

---

(٨) حيث ان الطاقة الحركية للأجسام المتحركة تتناسب مع كتلتها فان الطاقة الكامنة المتبادلة تتناسب زيادة مع مربع كتلاتها ·

وما هى هذه القوة الشديدة الانفجار التى أرسلت شظايا الكون بعيدا عن بعضها بمثل هذه السرعة المذهلة ؟ ربما كانت الاجابة مخيبة للآمال :

فربما كان ما حدث ليس انفجارا بالمعنى المعروف • والكون يتمدد الآن لأنه فى مرحلة سابقة من تاريخه (ليس لهذه المرحلة أية سجلات بالطبع) كان قد اختزل من لا نهاية الى حالة عالية من الكثافة ، ثم ارتدت كما لو كان مدفوعا بقوى المرونة العالية والكامنة فى داخله • ولو دخلت صالة للعبة كرة المنضدة (بنج بونج) فجأة فى الوقت الذى كانت الكرة فيه ترتد من الأرض الى السقف سوف تستنتج (دون أن تفكر فعلا) أن الكرة قد سقطت أولا على الأرض فى اللحظة السابقة على دخولك ، وكان سقوطها من ارتفاع مناسب ثم قفزت بعد ذلك بسبب مرونتها •

ونستطيع الآن أن نسبح بخيالنا دون حدود وأن نسأل أنفسنا عما اذا كان كل شىء يحدث الآن قد حدث بصورة عكسية أثناء مرحلة الانضغاط الشديد •

وهل كنت تقرأ هذا الكتاب من آخر صفحة الى الأولى منذ ثمانية أو عشرة بلايين عاما ؟ وهل كان أهل ذلك العصر يخرجون من أفواههم الدجاج المحمر ثم يعيدونه حيا الى المطبخ ثم يرسلونه الى المزرعة حيث يصغر فى السن من مرحلة البلوغ نزولا الى مرحلة البيضة ثم تتحول البيضة بعد بضعة أسابيع الى بيضة طازجة ؟! وهذه الأسئلة التى تبدو لنا طريفة لا يمكن الاجابة عليها من وجهة النظر العمنية البحتة ، ذلك لأن مرحلة ضغط الكون النهائية التى ضغطت كل المادة وحولتها الى سائل نووى متجانس لابد أنها طمست كافة آثار مراحل الضغط السابقة •

فهرس

●● كتب صدرت عن مشروع الألف كتاب (الثانى)

	اسم الكتاب	المؤلف
١	ـ أحلام الأعلام وقصص أخرى	برتراند رسل
٢	ـ الألكترونيات والحياة الحديثة	ي · رادونسكايا ·
٣	ـ نقطة مقابل نقطة	ألدس هكسلي ·
٤	ـ الجغرافيا فى مائة عام	ت · و · فريمان
٥	ـ الثقافة والمجتمع	رايموند وليامز
٦	ـ تاريخ العلم والتكنولوجيا · ج ٢ · القرن الثامن عشر والتاسع عشر	ر · ج · فوربس
٧	ـ الأرض الغامضة	ليستر ديل راى
٨	ـ الرواية الانجليزية	والتر ألن
٩	ـ المرشد الى فن المسرح	لويس فارجاس
١٠	ـ آلهة مصر	فرانسوا دوماس
١١	ـ الانسان المصرى على الشاشة	د · قدرى حفنى وآخرون
١٢	ـ القاهرة مدينة ألف ليلة وليلة	أولج فولكف
١٣	ـ الهوية القومية فى السينما العربية	هاشم النحاس
١٤	ـ مجموعات النقود صيانتها ·· تصنيفها ·· عرضها	ديفيد وليام ماكدوال
١٥	ـ الموسيقى ـ تعبير نغمى ـ ومنطق	عزيز الشوان
١٦	ـ عصر الرواية ـ مقال فى النوع الأدبى	
١٧	ـ ديلان توماس مجموعة مقالات نقدية	
		جون لويس
١٩	ـ الرواية الحديثة · الانجليزية ـ والفرنسية ج ١	بول ويست
٢٠	ـ المسرح المصرى المعاصر · أصله وبدايته	د · عبد المعطى شعراوى
٢١	ـ على محمود طه · الشاعر والانسان	أنور المعداوى
٢٢	ـ القوة النفسية للأهرام	بيل شول وأدنبيت
٢٣	ـ فن الترجمة	د · صفاء خلوصى

الاسم	المؤلف
٢٤ ـ تولستوى	رالف ئى ماتلو
٢٥ ـ ستندال	فيكتور برومبير
٢٦ ـ رسائل وأحاديث من المنفى	فيكتور هوجو
٢٧ ـ الجزء والكل (محاورات فى مضمار الفيزياء الذرية)	فيرنر هيرنبرج
٢٨ ـ التراث الغامض ماركس والماركسيون	سدنى هوك
٢٩ ـ فن الأدب الروائى عند تولستوى	ف ٠ ع أدنيكوف
٣٠ ـ أدب الأطفال ٠ (فلسفته ـ فنونه ـ وسائطه)	هارى نعمان الهيتى
٣١ ـ أحمد حسن الزيات ٠ كاتبا وناقدا	د ٠ نعمة رحيم العزاوى
٣٢ ـ أعلام العرب فى الكيمياء	د ٠ فاضل أحمد الطائى
٣٣ ـ فكرة المسرح	فرنسيس فرحون
٣٤ ـ الجحيم	هنرى باربوس
٣٥ ـ صنع القرار السياسى فى منظمات الادارة العامة	السيد عليوة
٣٦ ـ التطور الحضارى للانسان (ارتقاء الانسان)	جوكوب برونوفسكى
٣٧ ـ هل نستطيع تعليم الأخلاق للأطفال ؟	د ٠ روجر ستروجان
٣٨ ـ تربية الدواجن	كاتى ثير
٣٩ ـ الموتى وعالمهم فى مصر القديمة	ا ٠ سبنسر
٤٠ ـ النحل والطب	د ٠ ناعوم بيتر وفيتس
٤١ ـ سبع معارك فاصلة فى العصور الوسطى	جوزيف داهموس
٤٢ ـ سياسة الولايات المتحدة الأمريكية ازاء مصر ١٨٣٠ ـ ١٩١٤	د٠ لينوار تشامبرز رايت
٤٣ ـ كيف تعيش ٣٦٥ يوما فى السنة	د ٠ جون شندلر
٤٤ ـ الصحافة	بيير البير
٤٥ ـ أثر الكوميديا الالهية لدانتى فى الفن التشكيلى	الدكتور غبريال وهبه
٤٦ ـ الأدب الروسى قبل الثورة البلشفية وبعدها	د ٠ رمسيس عوض
٤٧ ـ حركة عدم الانحياز فى عالم متغير	د ٠ محمد نعمان جلال
٤٨ ـ الفكر الأوروبى الحديث	فرانكلين ل ٠ باومر

الاسم	المؤلف
٤٩ ـ الفن التشكيلي المعاصر في الوطن العربي ١٨٨٥ ـ ١٩٨٥	شوكت الربيعي
٥٠ ـ التنشئة الأسرية والأبناء الصغار	د · محيي الدين أحمد حسين
٥١ ـ نظريات الفيلم الكبرى	تأليف : ج · دارلي أندرو
٥٢ ـ مختارات من الأدب القصصي	جوزيف كونراد
٥٣ ـ الحياة في الكون كيف نشأت وأين توجد ؟	د · جوهان دورشنر
٥٤ ـ مبادرة الدفاع الاستراتيجي حرب الفضاء (دراسة تحليلية لأسلحة واستراتيجيات حرب الفضاء)	طائفة من العلماء الأمريكيين
٥٥ ـ ادارة الصراعات الدولية (دراسة في سياسات التعاون الدولي)	د · السيد عليوة
٥٦ ـ الميكروكمبيوتر	د · مصطفى عناني
٥٧ ـ مختارات من الأدب الياباني (الشعر ـ الدراما ـ الحكاية ـ القصة القصيرة)	مجموعة من الكتاب اليابانية القدماء والمحدثين
٥٨ ـ الفكر الأوروبي الحديث · جـ ٢ (الاتصال والتغير في الأفكار) من ١٦٠٠ ـ ١٩٥٠	فرانكلين ل · باومر
٥٩ ـ تاريخ ملكية الأراضي في مصر الحديثة	جابربيل باير
٦٠ ـ أعلام الفلسفة السياسية المعاصرة	أنطوني دي كرسبني وكينيت مينوج
٦١ ـ الفكر الأوروبي الحديث · ج ٣	فرانكلين ل · باومر
٦٢ ـ كتابة السيناريو للسينما	دوايت سوين
٦٣ ـ الزمن وقياسه	زافيلسكي ف · س
٦٤ ـ أجهزة تكييف الهواء	ابراهيم القرضاوي
٦٥ ـ الخدمة الاجتماعية والانضباط الاجتماعي	بيتر رداي
٦٦ ـ سبعة مؤرخين في العصور الوسطى ·	جوزيف داهموس
	س · م بورا
٦٨ ـ مراكز الصناعة في مصر الاسلامية	د· عاصم محمد رزق
٦٩ ـ العلم والطلاب والمدارس	رونالد د· سمبسون و نورمان د· أندرسون
٧٠ ـ الشارع المصري والفكر ·	د· أنور عبد الملك

الاسم	المؤلف
٧١ ـ حوار حول التنمية	والت روستو
٧٢ ـ تبسيط الكيمياء	فريد هيس
٧٣ ـ العادات والتقاليد المصرية	مون بوركهارت
٧٤ ـ التذوق السينمائى	آلان كاسبر
٧٥ ـ التخطيط السياحى	سامى عبد المعطى
٧٦ ـ البذور الكونية	فريد هويل شندرا ويكرا ماسيخ
٧٧ ـ دراما الشاشة	حسين حلمى المهندس
٧٨ ـ الهيروين والايدز	
٧٩ ـ الفكر الأوروبى الحديث ج ٤	فرانكلين ل٠ بلومر
٨٠ ـ نجيب محفوظ على الشاشة	هاشم النحاس
٨١ ـ صور افريقية	دوركاس ماكلينتوك
٨٢ ـ الكمبيوتر فى مجالات الحياة	د٠ محمود سرى طه
٨٣ ـ دراما الشاشة ج ٢	حسين حلمى المهندس
٨٤ ـ المخدرات حقائق اجتماعية ونفسية	بيتر لورى
٨٥ ـ وظائف الأعضاء من الألف الى الياء	بوريس فيدوروفيتش سيرجيف
٨٦ ـ الهندسة الوراثية	ويليام بينز
٨٧ ـ تربية أسماك الزينة	ديفيد الدرتون
٨٨ ـ كتب غيرت الفكر الانسانى	أحمد محمد الشنوانى
٨٩ ـ الفلسفة وقضايا العصر ج١	جمعها : جون ٠ ر ٠ بورر وميلتون جولد ينجر
٩٠ ـ الفكر التاريخى عند الاغريق :	آرنولد توينبى
٩١ ـ قضايا وملامح الفن التشكيلى	د٠ صالح رضا
٩٢ ـ التغذية فى البلدان النامية	م٠ هـ٠ لنج واخرون
٩٣ ـ الفلسفة وقضايا العصر ج٢	جمعها : جون ٠ ر٠ بورر وميلتون جولدينجر

رقم الايداع بدار الكتب ١٩٩٠/٧٧٣٩

ISBN — 977 — 01 — 2559 — 8